



TUGAS AKHIR - TE 141599

**OPTIMASI PELETAKAN *BASE TRANSCEIVER STATION*
DI KABUPATEN MOJOKERTO MENGGUNAKAN
*ALGORITMA DIFFERENTIAL EVOLUTION***

**Ahadi Arif Nugraha
NRP 2212106090**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT- TE 141599

***BASE TRANSCEIVER STATION LOCATING
OPTIMIZATION IN MOJOKERTO USING
DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM***

Ahadi Arif Nugraha
NRP 2212106090

Supervisor
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**OPTIMASI PELETAKAN BASE TRANSCEIVER STATION DI
KABUPATEN MOJOKERTO MENGGUNAKAN ALGORITMA
DIFFERENTIAL EVOLUTION**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Telekomunikasi Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing



Dr. Ir Achmad Mauludiyanto, MT.
NIP. 19610903 198903 100 1



OPTIMASI PELETAKAN *BASE TRANSCEIVER STATION* DI KABUPATEN MOJOKERTO MENGUNAKAN ALGORITMA *DIFFERENTIAL EVOLUTION*

Nama : AHADI ARIF NUGRAHA
NRP : 2212 106 090
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, M.T

ABSTRAK :

Salah satu aspek penting dalam perencanaan infrastruktur jaringan seluler adalah *Base Transceiver Station (BTS)* yang merupakan sebuah pemancar dan penerima sinyal *telephone* seluler. Di satu sisi, peningkatan jumlah menara memang akan mendukung tercapainya pemenuhan kebutuhan masyarakat terhadap layanan telekomunikasi. Namun di sisi lain, penempatan menara yang tanpa perencanaan serta koordinasi yang tepat akan menimbulkan jumlah menara yang berlebih sehingga dapat mengganggu estetika lingkungan, tata ruang suatu wilayah, dan radiasi gelombang radio yang tidak terkontrol sehingga sangat mengganggu.

Berdasarkan permasalahan diatas, maka dapat diselesaikan dengan cara menyusun suatu *master plan* yang lengkap dan rinci tentang penataan lokasi menara di Kabupaten Mojokerto untuk lima tahun mendatang. Penataan lokasi menara dilakukan dengan menggunakan algoritma *Differential Evolution (DE)* untuk menemukan solusi penataan menara yang baik berdasarkan luas cakupan area sel yang dihasilkan, kemudian menggunakan *software MapInfo* sebagai media visualisasi peta lokasi penempatan menara telekomunikasi.

Dalam perancangan menara BTS tahun 2019, Kabupaten Mojokerto membutuhkan 106 menara BTS 2G dan 36 menara BTS 3G. Penempatan menara BTS 2G dan 3G menggunakan algoritma *differential evolution* mampu mengoptimalkan 2,94% dari luas wilayah Kabupaten Mojokerto.

Kata kunci : *BTS, Differential Evolution, menara telekomunikasi, MapInfo*

BASE TRANSCEIVER STATION LOCATING OPTIMIZATION IN MOJOKERTO USING DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM

Name : AHADI ARIF NUGRAHA
NRP : 2212 106 090
Supervisor : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, M.T

ABSTRACT :

One important aspect of cellular network infrastructure planning is a Base Transceiver Station (BTS), which is a transmitter and receiver cellular telephone signal. An increase in the number of towers it will support the achievement of community needs for telecommunications services. But the placement of tower without proper planning and coordination will cause excessive number of towers that can interfere with the aesthetics of the environment, spatial region, and RF radiation are not controller so very disturbing.

Based on the above issues, it can be solved by preparing a master plan detailing the arrangement of tower location in Mojokerto regency for the next five years. Structuring the location of the tower is done by using the Differential Evolution (DE) algorithms to find a good solution tower arrangement based on the broad scope of resulting cell area, then use map visualization software MapInfo as media placement location of telecommunication towers.

In the design of joint tower BTS at 2019, Mojokerto requires 106 joint tower BTS 2G and 36 joint tower BTS 3G. Result of design a placement of joint tower BTS 2G and 3G using differential evolution able to optimization 2,94% of Mojokerto area.

Keywords: BTS; Differential Evolution; telecommunication; MapInfo

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan seluruh rahmat dan karunia-Nya. Sholawat serta salam semoga tercurahkan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, yang telah membimbing umatnya untuk menuju ke jalan yang benar, sehingga tugas akhir dengan judul ***“Optimasi Peletakan Base Transceiver Station di Kabupaten Mojokerto Menggunakan Algoritma Differential Evolution”*** ini dapat diselesaikan.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik dalam bidang studi Telekomunikasi Multimedia pada program studi Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan kasih sayang, doa, dukungan dan perhatian hingga saat ini.
2. Bapak Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, M.T. yang telah memberikan bimbingan kepada penulis selama ini.
3. Seluruh Dosen bidang studi Telekomunikasi Multimedia program studi Teknik Elektro yang telah memberikan arahan dan bimbingannya.
4. Rekan-rekan mahasiswa S1 Telekomunikasi Multimedia angkatan semester genap 2012 atas segala bantuan dan kerjasamanya.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan pada Tugas Akhir ini dan perlu pengembangan lebih lanjut. Oleh karena itu, besar harapan penulis untuk menerima kritik dan saran agar Tugas Akhir ini dapat lebih sempurna serta sebagai masukan bagi penulis untuk penelitian dan penulisan karya ilmiah di masa yang akan datang.

Semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua, terutama bagi pemerintah daerah yang akan atau sedang menerapkan penataan dan pengendalian menara telekomunikasi seluler bersama.

Surabaya, Januari 2015
Ahadi Arif Nugraha

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	iii
Halaman Pengesahan	v
Abstrak	vii
Abstract	ix
Kata Pengantar	xi
Daftar Isi	xiii
Daftar Gambar	xvii
Daftar Tabel	xix
 BAB 1 PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metodologi	4
1.7 Sistematika Penulisan	5
 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	 7
2.1 Sistem Komunikasi Seluler	7
2.1.1 Konsep Seluler.....	8
2.1.2 Global System for Mobile Communication	8
2.1.3 Universal Mobile Telecommunication System	17
2.1.4 Frekuensi <i>Reuse</i>	18
2.1.5 Handover.....	19
2.1.6 Interferensi.....	19
2.1.7 Model Propagasi	20
2.2 Jenis Menara Telekomunikasi	21
2.3 Teori Dasar Trafik	24
2.4 Prediksi Jumlah Penduduk.....	25
2.5 Morfologi Area.....	25
2.6 Evolutionary Algorithm.....	26
2.7 Differential Evolution.....	27

2.7.1	Algoritma.....	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Flowchart Penelitian.....	33
3.1.1	Tahap Identifikasi.....	35
3.1.2	Tahap Studi Pustaka dan Pengumpulan Data	35
3.1.3	Tahap Pengolahan Data	35
3.1.4	Tahap Implementasi Algoritma	35
3.1.5	Tahap Optimasi	36
3.1.6	Tahap Analisa dan Kesimpulan	36
3.2	Identifikasi	36
3.2.1	Penentuan Daerah Penelitian	36
3.2.2	Kebutuhan Data	37
3.3	Pengolahan Data.....	45
3.3.1	Prediksi Jumlah Penduduk.....	45
3.3.2	Peramalan Kapasitas Total Trafik	47
3.3.3	Prediksi Kebutuhan BTS	51
3.3.4	Prediksi Kebutuhan Menara Baru.....	52
3.3.5	Menghitung Radius Cell	53
3.3.6	Menghitung Luas Coverage Cell	54
3.4	Penentuan Fungsi Tujuan	54
3.4.1	Pengembangan Formulasi Matematis Fungsi Tujuan..	54
3.4.2	Implementasi Algoritma <i>Differential Evolution</i>	56
3.4.3	Pengembangan <i>Code</i>	57
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN.....		
4.1	Analisa Data	61
4.1.1	Data Persebaran Menara	61
4.1.2	Persebaran Zona Menara Eksisting	63
4.2	Pengolahan Data.....	67
4.2.1	Prediksi Kebutuhan BTS 2019	67
4.2.2	Prediksi Kebutuhan Menara 2019	67
4.3	Penempatan Menara Kebutuhan 2019.....	68
4.3.1	Pengujian Algoritma.....	69
4.3.2	Hasil Optimasi Algoritma.....	71

BAB 5 PENUTUP	81
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN.....	87
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bentuk Sel	8
Gambar 2. 2 Arsitektur GSM	9
Gambar 2. 3 Arsitektur Jaringan UMTS	17
Gambar 2. 4 Mekanisme Frekuensi <i>Reuse</i>	18
Gambar 2. 5 Proses <i>Handover</i>	20
Gambar 2. 6 Menara Mandiri (<i>Self Support Tower</i>)	22
Gambar 2. 7 Menara Tegang (<i>Guyed tower</i>)	23
Gambar 2. 8 Menara Tunggal (<i>Monopole Tower</i>)	24
Gambar 2. 9 Prosedur Umum Algoritma Evolusioner	26
Gambar 2. 10 Tahapan Dasar Algoritma Evolusioner	27
Gambar 2. 11 Siklus Evolusi <i>Differential Evolution</i>	29
Gambar 2. 12 Ilustrasi Pembentukan Vektor Mutan	30
Gambar 2. 13 Ilustrasi Proses <i>Crossover</i> dengan $D=7$	31
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	343
Gambar 3. 2 Peta Digital Kabupaten Mojokerto	39
Gambar 3. 3 Jumlah Penduduk Menurut Jenis Kelamin 2002-2012	41
Gambar 3. 4 Pengguna Seluler Menurut Wilayah Tahun 2010	44
Gambar 3. 5 Ilustrasi irisan sel BTS	56
Gambar 3. 6 <i>Flowchart</i> Metode <i>Differential Evolution</i>	60
Gambar 4. 1 Persebaran Zona Menara 2G Eksisting	64
Gambar 4. 2 Persebaran Zona Menara 3G Eksisting	65
Gambar 4. 3 Persebaran Zona Menara 2G dan 3G Eksisting	66
Gambar 4. 4 Tahap Inisialisasi Populasi	72
Gambar 4. 5 Tahap Mutasi Vektor	72
Gambar 4. 6 Tahap <i>Crossover</i> Vektor	73
Gambar 4. 7 Tahap Seleksi Vektor	73
Gambar 4. 8 Persebaran Zona 2G Kebutuhan tahun 2019	74
Gambar 4. 9 Persebaran Zona 3G Kebutuhan tahun 2019	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Frekuensi Jaringan GSM.....	10
Tabel 3. 1 Jumlah dan Pertumbuhan Penduduk Mojokerto tahun 2012	40
Tabel 3. 2 Daya Pancar BTS GSM 900 dan BTS GSM 1800	42
Tabel 3. 3 Daya Pancar CDMA 2000	42
Tabel 3. 4 Operator Seluler Indonesia.....	43
Tabel 3. 5 Prediksi Jumlah Penduduk dari tahun 2014 sampai 2019	46
Tabel 3. 6 Kebutuhan Trafik 2G Kabupaten Mojokerto tahun 2019.....	48
Tabel 3. 7 Kebutuhan Trafik 3G Kabupaten Mojokerto tahun 2019.....	50
Tabel 3. 8 Parameter Asumsi Kanal UMTS.....	51
Tabel 3. 9 Parameter Tambahan.....	53
Tabel 4. 1 Jumlah Menara dan BTS Eksisting tahun 2014	62
Tabel 4. 2 Jumlah BTS Setiap Operator Seluler	63
Tabel 4. 3 Prediksi Kebutuhan BTS tahun 2019	67
Tabel 4. 4 Prediksi Kebutuhan Menara 2019	68
Tabel 4. 5 Jumlah Titik Alternatif Setiap Kecamatan	69
Tabel 4. 6 <i>Output</i> 10 Replikasi dengan CR = 0,9 dan F = 0,9	70
Tabel 4. 7 <i>Output</i> 10 Replikasi dengan CR = 0,2 dan F = 0,9	70
Tabel 4. 8 Rekap Pengujian Parameter Algoritma DE.....	71

BAB 1

PENDAHULUAN

Bab pendahuluan ini berisi hal-hal yang mendasari pelaksanaan penelitian dan pengidentifikasian masalah penelitian. Komponen-komponen yang terdapat dalam bab ini meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi, dan sistematika penulisan.

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan industri telekomunikasi telah mengalami perkembangan yang sangat pesat. Berbagai varian teknologi sistem telekomunikasi nirkabel semakin berkembang pesat meliputi GSM dan CDMA yang mulai tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan teknologi informasi, kini kebutuhan sistem telekomunikasi tidak hanya terbatas pada *voice*, namun juga mencakup kebutuhan akses data berkecepatan tinggi, sehingga daya tarik sistem telekomunikasi nirkabel bagi masyarakat semakin besar. Hal ini dikarenakan kemampuan akses *mobile* dari sistem telekomunikasi nirkabel. Ketersediaan layanan diupayakan oleh sejumlah operator seluler yang menawarkan berbagai sistem dan layanan yang bervariasi dengan melakukan pembangunan infrastruktur jaringan seluler. Salah satu aspek penting dalam perencanaan infrastruktur jaringan seluler adalah *Base Transceiver Station (BTS)* yang merupakan sebuah pemancar dan penerima sinyal *telephone* seluler.

Pertumbuhan menara *BTS (Base Transceiver Station)* menjadi infrastruktur utama dalam penyelenggaraan jaringan telekomunikasi yang sangat dibutuhkan untuk pelayanan dan peningkatan kualitas jaringan telekomunikasi. Sehingga penambahan jumlah dan lokasi menara menjadi suatu keharusan bagi sejumlah operator seluler agar mampu melayani kebutuhan layanan dan jaringan telekomunikasi. Untuk mendirikan suatu menara *BTS* memerlukan ketersediaan lahan, bangunan, dan udara yang cukup memakan tempat. Jika dilihat dari sudut pandang yang berlawanan, kerapatan lokasi menara yang terlalu tinggi akan membawa beberapa permasalahan yang berimbas kepada masyarakat sekitar. Di satu sisi, peningkatan jumlah lokasi menara memang akan mendukung tercapainya pemenuhan kebutuhan

masyarakat terhadap layanan telekomunikasi. Namun di sisi lain, penempatan menara yang terlalu banyak dan tanpa perencanaan serta koordinasi yang tepat akan menimbulkan penghutan menara yang dapat mengganggu estetika lingkungan, tata ruang suatu wilayah dan radiasi gelombang radio yang tidak terkontrol sehingga akan sangat mengganggu.

Berdasarkan masalah yang telah diuraikan diatas, maka dapat diselesaikan dengan cara menyusun suatu *master plan* yang lengkap dan rinci tentang penataan lokasi menara di Kabupaten Mojokerto. *Master Plan* penataan menara BTS perlu mengacu dari gagasan atas pemenuhan kebutuhan telekomunikasi masyarakat, estetika dan keamanan, sedangkan penyusunannya perlu memperhatikan regulasi dan daerah wilayah yang akan dirancang. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimasi penempatan menara BTS secara optimal sehingga mampu melayani kebutuhan akan layanan telekomunikasi dan mampu menghasilkan daerah cakupan layanan yang lebih optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merencanakan dan membangun zona menara BTS eksisting di Kabupaten Mojokerto.
2. Bagaimana merencanakan kebutuhan akan komunikasi seluler di Kabupaten Mojokerto tahun 2019.
3. Bagaimana cara mengoptimalkan penempatan lokasi menara BTS bersama di Kabupaten Mojokerto tahun 2019 dengan mempertimbangkan estetika lingkungan dan tata ruang di Kabupaten Mojokerto sesuai dengan Peraturan Menteri Kominfo.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, maka penelitian ini diberikan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Proses perancangan zona menara menggunakan luas *coverage area cell* yang mampu dihasilkan oleh menara BTS.
2. Kriteria yang dipertimbangkan dalam model penentuan lokasi penempatan menara BTS sesuai dengan model geometri lingkaran, yaitu perhitungan luasan daerah lingkaran yang saling beririsan.

3. Proses optimalisasi menara BTS didasarkan pada pertimbangan luas wilayah, kepadatan penduduk, dan kebutuhan trafik seluler.
4. Data lokasi BTS eksisting yang digunakan berasal dari Dinas Pendapatan Daerah Kabupaten Mojokerto tahun 2014.
5. Proses komputasi menggunakan *software Microsoft Office Excel 2007* dan *MATLAB 2012*.
6. Hasil perancangan ditampilkan menggunakan *software MapInfo Profesional 10.0*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam pelaksanaan penelitian ini adalah :

1. Dapat merencanakan zona menara BTS eksisting di Kabupaten Mojokerto.
2. Dapat merencanakan kebutuhan menara BTS bersama di Kabupaten Mojokerto tahun 2019.
3. Mendapatkan lokasi penempatan menara BTS bersama di Kabupaten Mojokerto yang optimal tahun 2019 sehingga didapatkan total luas *coverage area cell* yang optimal.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat memberikan kontribusi dan rekomendasi bagi pemerintah daerah Kabupaten Mojokerto dalam menerapkan kebijakan penempatan lokasi menara BTS baru yang optimal di wilayah Kabupaten Mojokerto untuk kebutuhan tahun 2019.
2. Dapat memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan dan pengembangan konsep, serta penerapan algoritma optimasi untuk penyelesaian masalah penerapan menara telekomunikasi seluler bersama.
3. Sebagai bahan referensi bagi penelitian yang akan datang.

1.6 Metodologi

Dalam proses penelitian ini dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa pendekatan, antara lain :

1. Tahap Identifikasi
Pada tahapan awal penelitian tugas akhir ini, dilakukan identifikasi permasalahan yaitu bagaimana menempatkan menara BTS secara optimal sehingga dapat mencakup daerah yang lebih luas dengan menggunakan Algoritma *Differential Evolution (DE)*.
2. Tahap Studi Pustaka dan Pengumpulan Data
Literature review mengenai teori komunikasi seluler dan algoritma *Differential Evolution (DE)* dilakukan pada tahapan studi pustaka. Tujuan dilaksanakan studi pustaka ini supaya penelitian ini memiliki pedoman secara teori sehingga permasalahan yang diangkat dapat terselesaikan. Setelah studi pustaka dilakukan, maka dapat diketahui data apa saja yang dibutuhkan untuk menunjang penelitian ini.
3. Tahap Pengolahan Data
Pada tahapan ini data yang telah diperoleh kemudian diolah untuk menghasilkan beberapa parameter yang nantinya digunakan dalam pengembangan model yang akan dilakukan. Pengolahan data yang dilakukan meliputi, koordinat vektor x dan y dari koordinat lintang dan bujur dari menara BTS eksisting, jarak antar titik menara, dan radius *cell* dari menara BTS.
4. Tahap Implementasi Algoritma
Pada tahapan ini dilakukan implementasi algoritma *Differential Evolution* untuk menyelesaikan permasalahan penempatan menara BTS secara optimal dengan mencari solusi optimal dari tujuan optimasi yang akan dilakukan. Dalam tahapan ini dilakukan proses penentuan fungsi tujuan optimasi dan proses implementasi algoritma *Differential Evolution* ke dalam software *MATLAB*.

5. Tahap Optimasi

Pada tahapan optimasi ini akan dilakukan proses evaluasi *fitness function* atau fungsi tujuan yang telah ditentukan sehingga akan didapatkan suatu nilai hasil dari evaluasi fungsi tujuan yang digunakan. Dalam tahapan optimasi ini dilakukan pencarian kombinasi terbaik dari peletakan menara agar dapat menghasilkan luas daerah cakupan yang lebih optimal sehingga dapat memperluas daerah cakupan ataupun mengurangi daerah irisan antar sel yang sudah ada.

6. Tahap Analisa dan Kesimpulan

Hasil dari implementasi dan optimasi menggunakan algoritma *Differential Evolution* akan dilakukan analisis secara mendalam terhadap perancangan yang sudah ada di lapangan saat ini. Analisa yang dilakukan berdasarkan pada analisa *coverage* sel yang dihasilkan dari proses optimasi.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari enam bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab Pendahuluan ini berisi hal-hal yang mendasari pelaksanaan penelitian dan pengidentifikasian masalah penelitian. Komponen-komponen yang terdapat dalam bab ini meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab Tinjauan Pustaka ini merupakan kepustakaan yang relevan dan sesuai dengan topik penelitian tugas akhir. Uraian teori dijadikan acuan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab Metodologi Penelitian akan menguraikan metodologi penelitian yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir. Di dalamnya dibahas mengenai tahapan-tahapan yang dilakukan penulis dalam pemecahan masalah, mulai dari identifikasi masalah, implementasi algoritma, analisis, serta kesimpulan dan saran. Implementasi algoritma

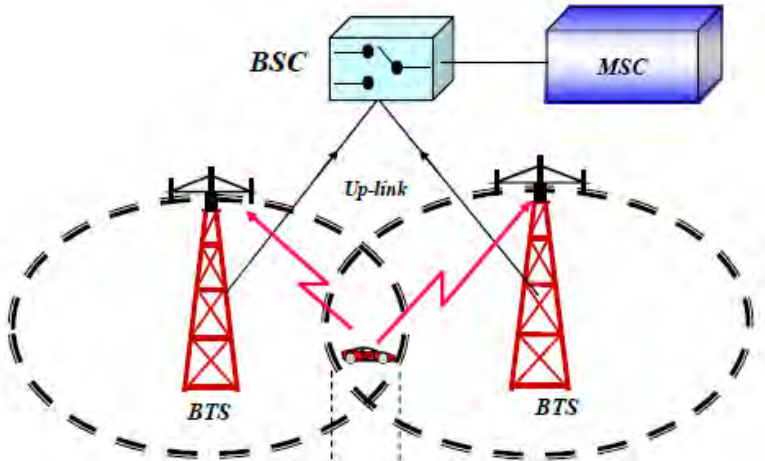
akan menunjukkan bagaimana model matematis permasalahan penempatan menara BTS secara optimal serta pengembangan Algoritma *Differential Evolution (DE)* yang mampu melakukan proses optimasi terhadap model matematis yang telah dirancang.

BAB IV : ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab Analisa dan Pembahasan akan menguraikan hasil uji coba model yang telah dilakukan sebelumnya. Di paparkan pula analisis mengenai kesesuaian hasil penelitian dengan teori.

BAB V : PENUTUP

Pada bab Penutup berisi kesimpulan dan saran yang diperoleh dari hasil penelitian tugas akhir.



Gambar 2. 5 Proses *Handover* [8]

2.1.7 Model Propagasi

Model propagasi yang sering digunakan dalam perancangan sistem komunikasi seluler adalah model Okumura-Hatta. Model Okumura-Hatta adalah model propagasi yang paling dikenal dan sesuai untuk memprediksi medan pelemahan sinyal radio untuk lingkungan makrosel. Model Okumura-Hatta merupakan model empiris yang mana berarti model yang didasarkan pada proses pengukuran di lapangan. Awalnya Okumura melakukan di Tokyo dan kemudian mempublikasikan hasilnya dalam bentuk grafik, sedangkan Hatta mengubah bentuk grafik tersebut kedalam persamaan matematis.

Berikut adalah model Okumura-Hatta untuk menghitung jari-jari sel [10]:

a. Daerah *Urban*

$$d = 10^{\frac{(MAPL - 69.55 - 26.16 \log f + 13.82 \log h_{BTS} + a(h_{MS}))}{44.9 - 6.55 \log h_{BTS}}} \quad (2.2)$$

b. Daerah *Suburban*

$$d = 10^{\frac{(MAPL - 69.55 - 26.16 \log f + 13.82 \log h_{BTS} + P)}{44.9 - 6.55 \log h_{BTS}}} \quad (2.3)$$

c. Daerah *Rural*

$$d = 10^{\frac{(\text{MAPL} - 69.55 - 26.16 \log f + 13.82 \log h_{\text{BTS}} + Q)}{44.9 - 6.55 \log h_{\text{BTS}}}} \quad (2.4)$$

Dimana :

$$P = 2(\log \left(\frac{f}{28}\right))^2 + 5.4 \quad (2.5)$$

$$Q = 4.78(\log f)^2 - 18.33 \log f + 40.94 \quad (2.6)$$

2.2 Jenis Menara Telekomunikasi

Untuk meletakkan antena pemancar BTS dibutuhkan sebuah menara (*tower*). Ketinggian menara disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi lingkungan di sekitar. Pada menara telekomunikasi biasanya terdapat *shelter* yang berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan berbagai perangkat telekomunikasi. Jenis menara dan operasionalnya dapat diklasifikasikan berdasarkan [11]:

a. Tempat berdirinya menara, mencakup :

1. Menara yang dibangun di atas tanah (*green field*)
2. Menara yang dibangun diatas bangunan (*roof top*)

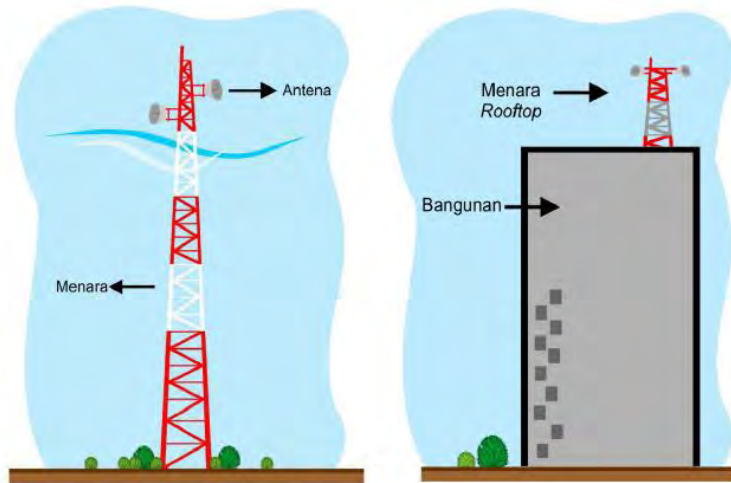
b. Struktur bangunan menara, mencakup :

1. Menara mandiri (*self supporting tower*)

Menara mandiri merupakan menara dengan struktur rangka baja yang berdiri sendiri dan kokoh, sehingga mampu menampung perangkat telekomunikasi dengan optimal. Menara ini dapat didirikan di atas bangunan atau di atas tanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Menara tipe ini dapat berupa menara berkaki 4 (*rectangular tower*) dan menara berkaki 3 (*triangular tower*).

Menara ini memiliki fungsi untuk :

- Komunikasi bergerak seluler di daratan, mencakup komunikasi seluler dengan teknologi GSM dan CDMA.
- Komunikasi *point to point*.
- Penyiaran televisi.
- Penyiaran radio.

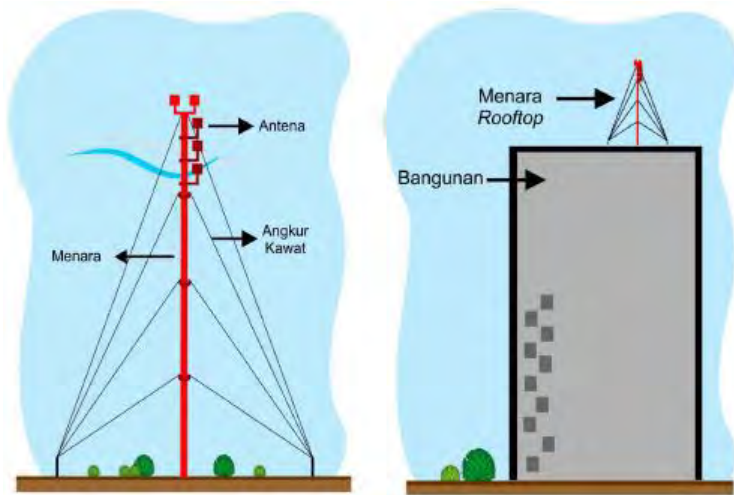


Gambar 2. 6 Menara Mandiri (*Self Support Tower*)[11]

2. Menara teregang (*guyed tower*)

Menara teregang merupakan menara dengan struktur rangka baja yang memiliki penampang lebih kecil dari menara mandiri dan berdiri dengan bantuan perkuatan kabel yang diangkurkan pada tanah dan diatas bangunan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Menara ini memiliki fungsi untuk :

- Komunikasi bergerak seluler di daratan, mencakup komunikasi seluler dengan teknologi GSM dan CDMA.
- Komunikasi *point to point*.
- Jaringan telekomunikasi nirkabel.
- Penyiaran televisi.
- Penyiaran radio.

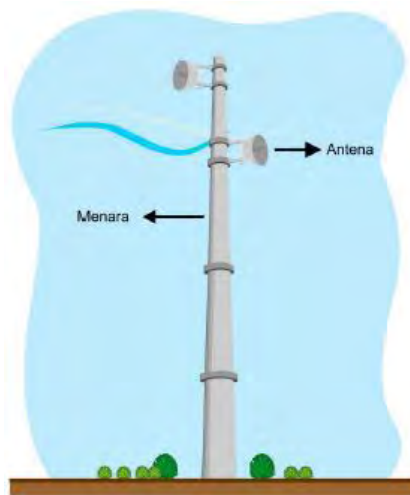


Gambar 2. 7 Menara Tegang (*Guyed tower*)[11]

3. Menara tunggal (*monopole tower*)

Menara tunggal merupakan menara yang hanya terdiri dari satu rangka tiang yang didirikan atau ditancapkan langsung pada tanah dan tidak dapat didirikan di atas bangunan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Berdasarkan penampangannya, menara *monopole* terbagi menjadi menara berpenampang lingkaran (*circular pole*) dan menara berpenampang persegi (*tapered pole*). Menara tunggal memiliki fungsi untuk :

- Komunikasi bergerak seluler di daratan, mencakup komunikasi seluler dengan teknologi GSM dan CDMA.
- Komunikasi *point to point*.
- Jaringan telekomunikasi nirkabel.
- Jaringan transmisi.
- Komunikasi radio gelombang mikro.



Gambar 2. 8 Menara Tunggal (*Monopole Tower*).[11]

2.3 Teori Dasar Trafik

Trafik merupakan perpindahan informasi dari suatu tempat ke tempat lain melalui jaringan telekomunikasi. Besaran dari suatu trafik telekomunikasi di ukur dengan satuan waktu. Nilai trafik dari suatu kanal adalah lamanya pendudukan kanal tersebut. Tujuan perhitungan trafik adalah untuk mengetahui *Network Performance* dan *Quality of Service (QoS)*. Volume trafik adalah jumlah waktu dari masing-masing pendudukan pada seluruh saluran telekomunikasi. Volume trafik dapat ditentukan dengan mangalikan jumlah panggilan dengan waktu rata-rata pendudukan. [12]

$$A = \frac{V}{T} \quad (2.7)$$

dimana :

A = Intensitas trafik (Erlang)

V = Volume trafik atau waktu pendudukan persatuan waktu

T = Periode waktu pengamatan

2.4 Prediksi Jumlah Penduduk

Prediksi jumlah penduduk perlu dilakukan untuk memperkirakan jumlah penduduk di masa yang akan datang. Pada umumnya prediksi jumlah penduduk diperlukan untuk tahapan perencanaan jangka panjang suatu wilayah. Tingkat pertumbuhan penduduk di suatu wilayah dapat dihitung dengan cara membandingkan jumlah penduduk awal dengan jumlah penduduk di tahun kemudian. Dengan menggunakan rumus pertumbuhan geometrik, angka pertumbuhan penduduk sama untuk setiap tahunnya. Untuk dapat memprediksi jumlah penduduk di masa yang akan datang dapat digunakan rumus [3]:

$$P_t = P_0 (1 + r)^t \quad (2.8)$$

dimana:

- P_t = jumlah penduduk tahun t
- P_0 = jumlah penduduk awal
- r = laju pertumbuhan penduduk
- t = jumlah tahun dari 0 ke t

2.5 Morfologi Area

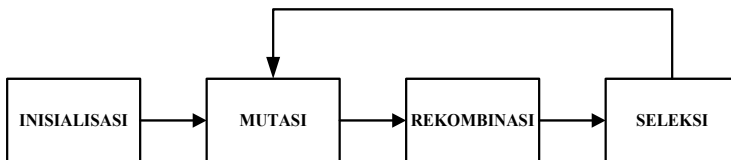
Morfologi area adalah pengelompokan suatu area berdasarkan kepadatan penduduk, perilaku penduduk, dan kondisi lingkungannya. Morfologi area dibedakan menjadi 3 macam yaitu [13]:

- a. *Urban* yaitu merupakan daerah pusat kota, baik kota metropolitan maupun kota menengah dengan gedung-gedung yang rapat dan tinggi. Daerah *urban* memiliki kepadatan penduduk yang tinggi dan diwarnai dengan strata sosial ekonomi yang heterogen. Mata pencaharian di daerah perkotaan bervariasi dan lebih mengarah pada bidang industri.
- b. *Suburban* yaitu merupakan daerah peralihan antara kota dan desa yang ditandai dengan jumlah bangunannya yang mulai padat, biasanya ditemui di pinggiran kota maupun kota-kota kecil.
- c. *Rural* yaitu merupakan daerah yang ditandai dengan bangunannya yang sedikit dan jarang, lebih banyak ditemui alam terbuka dan hutan-hutan.

2.6 Evolutionary Algorithm

Algoritma Evolusioner merupakan salah satu metaheuristik yang berdasarkan populasi. Pengembangan algoritma ini diinspirasi oleh teori evolusi Charles Darwin. Selama ini, algoritma evolusioner dapat menyelesaikan dengan baik permasalahan yang sulit diselesaikan oleh metode tradisional. [14]

Nama algoritma evolusioner berasal dari perpaduan antara biologi dan teori evolusi. Sekumpulan parameter permasalahan (*genes*) dimiliki oleh setiap individu. Awalnya, algoritma ini diinisialisasi secara random karena belum diketahui area optimal populasi maupun individu. Selanjutnya adalah kriteria optimasi, disebut dengan *fitness*, mengevaluasi setiap individu dalam populasi sehingga didapatkan *fitness* yang semakin baik. Dari tahapan evaluasi ini, populasi awal *parents* telah siap dan algoritma dapat memulai siklus evolusinya dimana populasi akan melewati tiga tahapan yaitu seleksi, variasi (*crossover* dan *mutation*), dan *replacement* (penggantian individu dengan individu yang lebih baik yang berasal dari *parents* atau *children*). Penjelasan mengenai skema atau prosedur algoritma evolusioner dapat dilihat pada Gambar 2.9 dan Gambar 2.10.



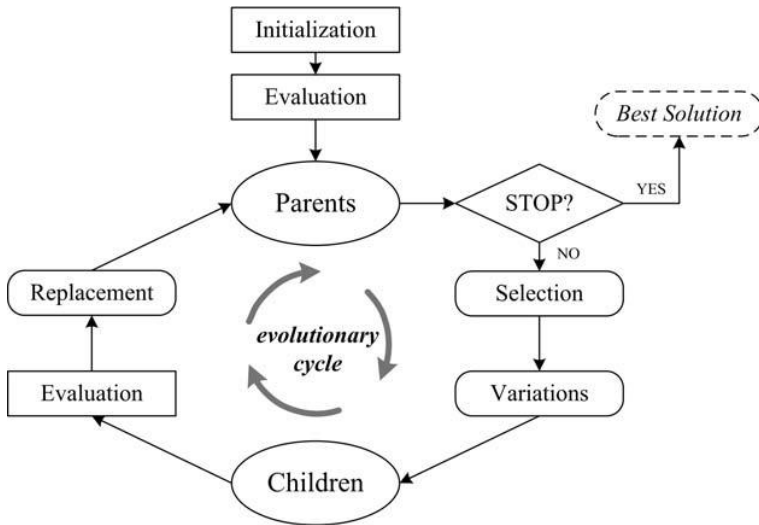
Gambar 2. 9 Prosedur Umum Algoritma Evolusioner [28]

Algoritma evolusioner muncul pada tahun 1960-an yaitu ditandai dengan adanya tiga algoritma berikut ini :

- a. *Evolutionary Programming (EP)*. Menurut Fogel et al. (1966) untuk menciptakan suatu *machine intelligence* berdasarkan teori evolusi dan kemudian EP berkembang menjadi teknik optimasi yang efisien.
- b. *Evolution Strategy* diusulkan oleh I. Rechenberg (1973) seperti yang dikutip oleh Price et al. (2005) dan dikembangkan oleh H. Schwefel (1981) untuk menyelesaikan permasalahan penerbangan. Mereka menemukan kunci utama dalam

algoritma evolusioner yaitu ide dalam adaptasi untuk parameter dalam algoritma.

- c. *Genetic Algorithms (GA)*, konsep algoritma ini diusulkan dan dikembangkan oleh J. Holland (1975) sebagai usaha untuk mengetahui mekanisme adaptasi biologi melalui simulasi secara numerik.



Gambar 2. 10 Tahapan Dasar Algoritma Evolusioner [14]

Seiring berjalannya waktu, algoritma evolusioner semakin berkembang. Teknik-teknik algoritma baru banyak bermunculan dan penerapan dalam permasalahan dunia nyata semakin banyak. Pada sub bab 2.7 akan dijelaskan mengenai alternatif algoritma evolusioner yang lain yaitu *Differential Evolution*.

2.7 Differential Evolution

Differential Evolution (DE) adalah sebuah metode yang dikembangkan oleh Kenneth Price dan dipublikasikan pada Oktober 1994 dalam majalah *Dr. Dobb's Journal* (Price et al., 2005). Metode ini

merupakan metode optimasi matematis fungsi multidimensional dan termasuk dalam kelompok *evolutionary algorithm*.

Munculnya metode DE ini berawal dari usaha penyelesaian permasalahan *fitting* polinomial Chebychev dan menghasilkan ide penggunaan perbedaan vektor untuk mengacak populasi vektor. Kemudian seiring dengan perkembangannya, dalam ICEO (*International Contest on Evolutionary Optimization*) yang pertama, DE menjadi salah satu algoritma genetika terbaik dan dapat menemukan global optimum yang multi dimensi (yaitu menunjukan lebih dari satu nilai optimum) dengan probabilitas yang baik.

Kelebihan DE dibanding dengan metode algoritma evolusioner sebelumnya adalah adanya evolusi yang dialami oleh setiap individu dalam populasi dimana diferensiasi dan *crossover* terjadi secara berurutan pada setiap individu yang terpilih acak dari populasi setiap waktu. Hasil dari variasi ini dikenal sebagai *child* (turunan) atau *trial individual* yang akan menggantikan *parents* pada populasi apabila *fitness* yang dihasilkan lebih baik atau sama dengan yang dihasilkan *parents*.

2.7.1 Algoritma

Differential Evolution (DE) berdasarkan atas populasi yang sangat sederhana dan sekaligus merupakan fungsi minimasi stokastik yang akurat. Salah satu tahapan yang juga merupakan ide penting dari algoritma DE adalah pada pembangkitan vektor parameter uji (*trial*).

2.7.1.1 Inisialisasi

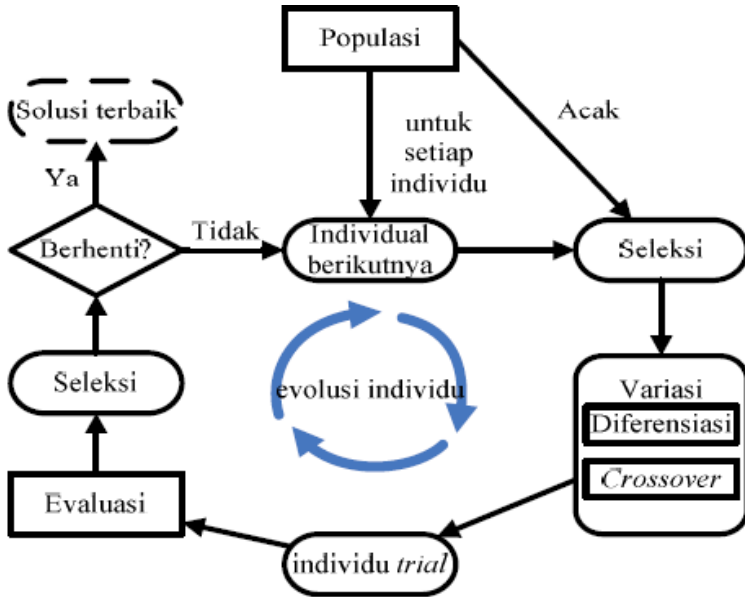
Sebelum populasi dapat diinisialisasi, *upper* dan *lower bounds* untuk setiap parameter harus ditentukan, yaitu dengan vektor inisialisasi D-dimensi b_L dan b_U . L menunjukkan *lower* dan U menunjukkan *upper*. Berikutnya adalah membangkitkan bilangan acak untuk setiap parameter j dari vektor i pada iterasi g . Misalkan nilai inisial ($g = 0$) [16]:

$$X_{j,i,0} = rand_j(0,1) \cdot (b_{j,U} - b_{j,L}) + b_{j,L} \quad (2.9)$$

Bilangan acak tersebut dibangkitkan berdasarkan distribusi uniform pada rentang $[0,1]$ atau $0 \leq rand_j(0,1) < 1$.

Selain menggunakan distribusi uniform, DE dapat membangkitkan bilangan acaknya dengan distribusi yang lain. Keputusan menggunakan distribusi tertentu dalam pembangkitan

bilangan acak ini tergantung pada pengetahuan terhadap lokasi titik optimal. Akan tetapi pada umumnya distribusi uniform digunakan dalam inisialisasi pembangkitan bilangan acak karena mampu mengatasi kurangnya informasi lokasi titik optimal.



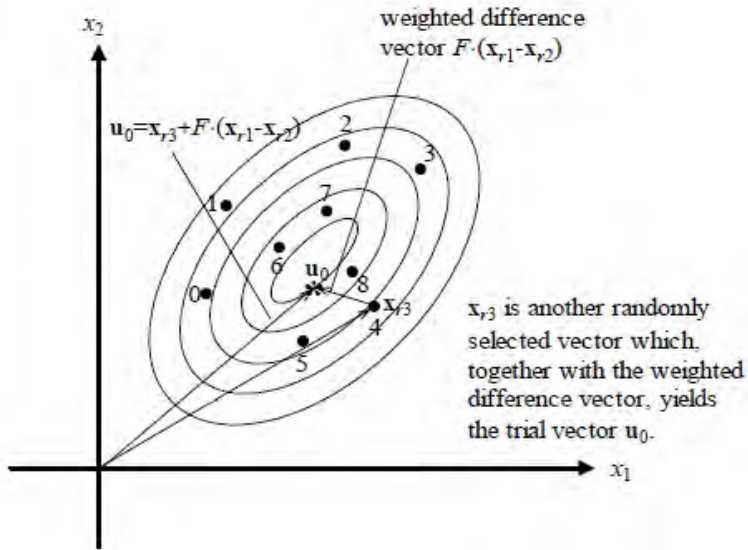
Gambar 2. 11Siklus Evolusi *Differential Evolution* [14]

2.7.1.2 Mutasi

Setelah diinisialisasi, DE akan memutasi dan merekombinasi populasi awal untuk menghasilkan populasi baru. Mutasi pada beberapa kamus bahasa menunjukkan pengertian berubah dan dalam konteks genetika mutasi berarti perubahan dengan elemen acak. Berikut ini adalah persamaan yang menunjukkan bagaimana membentuk vektor mutan, $v_{i,g}$ [16]:

$$v_{i,g} = x_{r1,g} + F \cdot (x_{r1,g} - x_{r2,g}) \quad (2.10)$$

Dimana r_0, r_1, r_2 adalah indeks acak, integer, dan berbeda. Indeks basis vektor, r_0 , dapat ditentukan dengan berbagai cara antara lain acak, permutasi, stokastik, dan acak *offset*. Sedangkan untuk r_1 dan r_2 dipilih secara acak sekali untuk setiap mutan. Gambar 2.12 akan menunjukkan bagaimana membuat vektor mutan pada ruang parameter 2D.



Gambar 2. 12 Ilustrasi Pembentukan Vektor Mutan [17]

2.7.1.3 Crossover

Untuk melengkapi strategi pencarian *differential mutation*, DE menggunakan *crossover* dengan tujuan meningkatkan diversitas parameter populasi. *Crossover* membangun vektor uji dari nilai parameter yang telah *dicopy* dari dua vektor yang berbeda. Pada proses *crossover* ini nantinya akan didapatkan sebuah populasi baru dari hasil persilangan anatara kedua buah vektor atau lebih, sehingga populasi tersebut akan digunakan untuk proses selanjutnya yaitu proses seleksi vektor. Persamaan untuk vektor uji adalah sebagai berikut [16]:

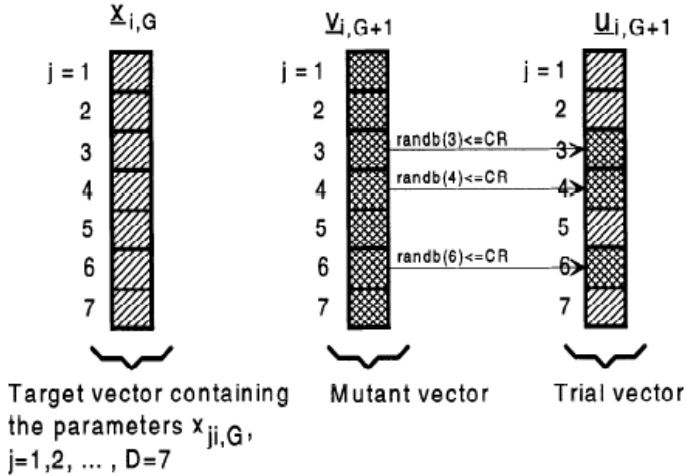
$$u_{i,g+1} = (u_{1i,g+1}, u_{2i,g+1}, \dots, u_{ni,g+1}) \quad (2.11)$$

dimana:

$$u_{i,g+1} = \begin{cases} v_{j,i,g+1} & \text{if } (rand_j(0,1) \leq CR) \\ & \text{or } j = j_{rand} \\ x_{j,i,g} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.12)$$

$j = 1, 2, \dots, n$

Dalam persamaan (2.12), $rand_j(0,1)$ adalah evaluasi ke- j dari pembangkitan bilangan acak. CR adalah konstanta *crossover* yang ditentukan oleh pembuat model, j_{rand} adalah indeks yang dipilih secara acak. Gambar 2.13 akan menunjukkan bagaimana *crossover* berjalan.



Gambar 2. 13 Ilustrasi Proses *Crossover* dengan $D=7$ [18]

2.7.1.4 Seleksi

Menurut Price et al. (2005), pada dasarnya ada dua tahapan dalam proses evolusi yang menggunakan seleksi yaitu *parent selection* dan *survivor selection*. Berikut ini adalah penjelasan mengenai kedua tahapan seleksi tersebut :

a. *Parent Selection*

Seperti yang dikutip dari Goldberg (1989), seleksi ini pada beberapa metode *genetic algorithm* akan menunjukkan vektor mana yang akan direkombinasi. Vektor yang terpilih ditandai dengan nilai fungsi terbaik dan probabilitas seleksi tertinggi. Metode ini dalam memberikan probabilitas seleksi membutuhkan tambahan asumsi tentang bagaimana menggambarkan nilai fungsi tujuan menjadi probabilitas.

b. *Survivor Selection*

Metode ini juga bisa disebut *replacement*. Untuk mengetahui apakah vektor menjadi anggota generasi $g + 1$, maka vektor uji $u_{i,g+1}$ dibandingkan dengan vektor target $x_{i,g}$ menggunakan kriteria *greedy*. Jika vektor $u_{i,g+1}$ menghasilkan fungsi biaya lebih yang lebih kecil daripada $x_{i,g}$ maka $x_{i,g+1}$ akan diatur menjadi $u_{i,g+1}$, dan bila sebaliknya maka nilai $x_{i,g}$ yang lama dipertahankan. Apabila penjelasan ini ditunjukkan dalam persamaan, maka hasilnya adalah sebagai berikut [18]:

$$x_{i,g+1} = \begin{cases} u_{i,g} & \text{if } f(u_{i,g}) \leq f(x_{i,g}) \\ x_{i,g} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.13)$$

2.7.1.5 *Kriteria Penghentian Iterasi*

Setelah populasi baru dihasilkan dalam tahapan seleksi, proses mutasi, rekombinasi, dan seleksi akan terus berulang hingga mencapai optimal. Perulangan hingga global optima pada beberapa kondisi akan memakan waktu yang sangat lama, karena itulah dibutuhkan kriteria yang dapat menunjukkan kapan iterasi akan berhenti. Batasan iterasi ini antara lain :

1. Nilai fungsi tujuan pada toleransi tertentu tercapai.
2. Jumlah maksimum iterasi yang dilakukan.
3. Penentuan statistik populasi mendekati angka tertentu.
4. Penentuan lama waktu iterasi.

Ketika mencapai salah satu batas iterasi ini maka pencarian titik optimal akan berhenti dan vektor populasi yang memberikan nilai fungsi terbaik sampai saat itu akan menjadi titik optimal.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka ini merupakan kepustakaan yang relevan dan sesuai dengan topik penelitian tugas akhir. Uraian teori dijadikan acuan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir.

2.1 Sistem Komunikasi Seluler

Sistem komunikasi seluler adalah sistem komunikasi jarak jauh tanpa menggunakan kabel. Telekomunikasi seluler merupakan bentuk komunikasi *modern* yang ditujukan untuk menggantikan telepon rumah yang masih menggunakan kabel sebagai media perantaranya.

Salah satu perangkat yang sering disebut sebagai telepon seluler adalah *handphone* atau telepon genggam. Telepon seluler merupakan perangkat telekomunikasi elektronik yang mempunyai kemampuan dasar yang sama dengan telepon *fixed line* konvensional, namun dapat dibawa ke mana saja (*mobile*) dan tidak perlu disambungkan ke jaringan telepon melalui kabel. Perkembangan dunia teknologi seluler selalu mengalami perkembangan dari masa ke masa, adapun perkembangan teknologi seluler adalah sebagai berikut :

1. Generasi Pertama

Pada generasi pertama sistem komunikasi masih menggunakan sistem komunikasi analog dengan kecepatan rendah dan hanya cukup untuk layanan suara. Contohnya NMT (*Nordic Mobile Telephone*) dan AMPS (*Analog Mobile Phone System*).

2. Generasi Kedua

Pada generasi kedua sistem komunikasi sudah mulai menggunakan sistem komunikasi digital dengan kecepatan menengah untuk pita frekuensi lebar. Contohnya GSM (*Global System for Mobile*) dan CDMA (*Code Division Multiple Access*) 200 1x.

3. Generasi 2,5

Menggunakan sistem komunikasi digital dengan kecepatan menengah. Teknologi yang termasuk 2,5G adalah layanan data seperti GPRS (*General Packet Radio Service*) dan EDGE (*Enhance Data Rate for GSM Evolution*) pada domain GSM dan PDN (*Packet Data Network*) pada domain CDMA.

4. Generasi Ketiga

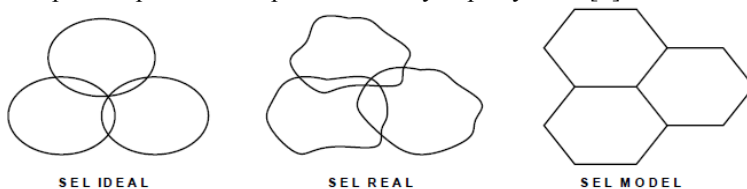
Menggunakan sistem komunikasi digital dengan kecepatan tinggi untuk pita lebar. Contoh WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) atau dikenal juga dengan UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) dan CDMA 2000 1x EV-DO. [1]

2.1.1 Konsep Seluler

Konsep dasar dari suatu sistem seluler adalah adanya pembagian daerah layanan menjadi beberapa daerah yang lebih kecil yang disebut dengan sel. Setiap sel mempunyai daerah cakupannya masing-masing dan beroperasi secara khusus. Jumlah sel pada suatu daerah geografis adalah berdasarkan pada jumlah pelanggan yang beroperasi di daerah tersebut. Ukuran sel pada sistem komunikasi seluler dapat dipengaruhi oleh :

1. Kepadatan trafik.
2. Ketinggian antena sektoral.
3. Daya pemancar, yaitu *base station* dan *mobile station*.
4. Faktor alam seperti udara, laut, gunung, gedung, dan lain-lain.

Bentuk jaringan sistem seluler berkaitan dengan luas cakupan daerah pelayanan. Bentuk sel yang terdapat pada sistem komunikasi bergerak seluler digambarkan dengan bentuk *hexagonal* dan lingkaran. Tetapi bentuk *hexagonal* dipilih sebagai bentuk pendekatan jaringan seluler, karena dari sel yang lebih sedikit dari bentuk *hexagonal* diharapkan dapat mencakup seluruh wilayah pelayanan. [2]



Gambar 2. 1 Bentuk Sel

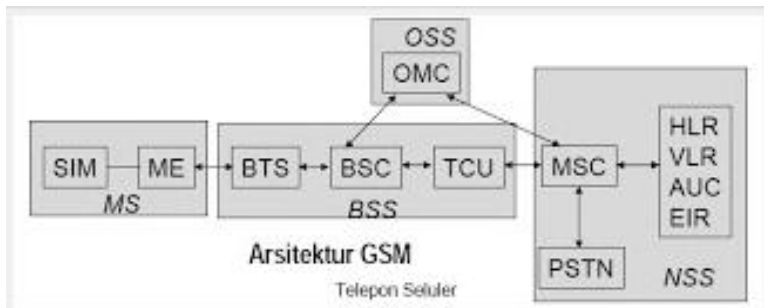
2.1.2 Global System for Mobile Communication (GSM)

Global System for Mobile Communication (GSM) adalah sebuah standar global untuk komunikasi bergerak digital. GSM adalah nama dari sebuah *group* standarisasi yang dibentuk di Eropa tahun 1982 untuk menciptakan sebuah standar bersama telepon bergerak seluler di Eropa yang beroperasi pada daerah frekuensi 900 – 1800 MHz. GSM

merupakan teknologi infrastruktur untuk pelayanan telepon seluler digital yang bekerja berdasarkan TDMA (*Time Division Multiple Access*) dan FDMA (*Frequency Division Multiple Access*). Jaringan GSM adalah jaringan telekomunikasi seluler yang mempunyai arsitektur yang mengikuti standar ETSI (*European Telecommunication Standard Institute*) GSM 900 / GSM 1800.

GSM dengan frekuensi 1800 MHz dan 900 MHz merupakan frekuensi yang paling banyak digunakan di dunia. GSM 900 menggunakan frekuensi *uplink* 890-915 MHz dan frekuensi *downlink* 935-960 MHz, dengan lebar kanal sebesar 200 KHz maka akan tersedia kanal sebesar 124 kanal. Untuk memenuhi kebutuhan kanal yang semakin banyak, maka digunakanlah *extended* GSM yaitu dengan menambah 50 kanal. *Duplex Spacing* (jarak frekuensi antara *uplink* dengan *downlink*) sebesar 45 MHz. GSM 1800 menggunakan frekuensi *uplink* sebesar 1710-1785 MHz dan frekuensi *downlink* sebesar 1805-1880 MHz dengan *bandwidth* sebesar 75 MHz dengan lebar kanal sama seperti pada GSM 900 yaitu 200 KHz maka akan tersedia kanal sebanyak 375 kanal. [3]

Arsitektur jaringan GSM seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 terdiri atas empat subsistem yaitu *Mobile Station (MS)*, *Base Station Sub-system (BSS)*, *Network Switching Sub-system (NSS)*, dan *Operation Sub-system (OSS)*. Secara keseluruhan *network element* tersebut akan membentuk sebuah PLMN (*Public Land Mobile Network*).



Gambar 2. 2 Arsitektur GSM. [4]

Tabel 2. 1 Tabel Frekuensi Jaringan GSM. [5]

System	Band	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Channel Number
T-GSM-380	380	380.2–389.8	390.2–399.8	Dynamic
T-GSM-410	410	410.2–419.8	420.2–429.8	Dynamic
GSM-450	450	450.4–457.6	460.4–467.6	259–293
GSM-480	480	478.8–486.0	488.8–496.0	306–340
GSM-710	710	698.0–716.0	728.0–746.0	Dynamic
GSM-750	750	747.0–762.0	777.0–792.0	438–511
T-GSM-810	810	806.0–821.0	851.0–866.0	Dynamic
GSM-850	850	824.0–849.0	869.0–894.0	128–251
P-GSM-900	900	890.0–915.0	935.0–960.0	1–124
E-GSM-900	900	880.0–915.0	925.0–960.0	975–1023, 0-124
R-GSM-900	900	876.0–915.0	921.0–960.0	955–1023, 0-124
T-GSM-900	900	870.4–876.0	915.4–921.0	Dynamic
DCS-1800	1800	1710.0–1785.0	1805.0–1880.0	512–885
PCS-1900	1900	1850.0–1910.0	1930.0–1990.0	512–810

2.1.2.1 Mobile Station (MS)

Bagian paling rendah dari sistem GSM adalah MS (*Mobile Station*). *Mobile Station (MS)* adalah perangkat yang digunakan oleh pelanggan untuk melakukan pembicaraan. Secara umum sebuah MS terdiri dari :

a. Mobile Equipment (ME)

Mobile Equipment (ME) atau *handset* adalah perangkat GSM yang berada di sisi pelanggan yang berfungsi sebagai terminal *transceiver* (pengirim dan penerima sinyal) untuk berkomunikasi dengan perangkat GSM lainnya. Secara internasional, ME diidentifikasi dengan IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) dan data IMEI ini disimpan di dalam EIR untuk keperluan autentikasi apakah ME yang bersangkutan diijinkan untuk melakukan hubungan atau tidak.

b. *Subscriber Identity Module (SIM)*

Subscriber Identity Module (SIM) adalah sebuah *smart card* yang berisi seluruh informasi pelanggan dan beberapa informasi *service* yang dimilikinya. *Mobile Equipment (ME)* tidak dapat digunakan tanpa ada *SIM card* didalamnya, kecuali untuk panggilan *emergency (SOS)* dapat dilakukan tanpa menggunakan *SIM card*.

2.1.2.2 Base Station Sub-system (BSS)

Secara umum *Base Station Sub-system (BSS)* terdiri dari BTS (*Base Transceiver Station*) dan BSC (*Base Station Controller*). Segala fungsi yang berhubungan dengan penerimaan data lewat gelombang radio dikerjakan di dalam bagian-bagian BSS, yang terdiri atas :

a. *Base Transceiver Station (BTS)*

BTS adalah perangkat GSM yang berhubungan langsung dengan MS. BTS berhubungan dengan MS melalui *air interface* atau disebut juga dengan *Um Interface*. BTS berfungsi sebagai pengirim dan penerima (*transceiver*) sinyal komunikasi dari dan ke MS yang menyediakan *radio interface* antara MS dan jaringan GSM. Karena fungsinya sebagai *transceiver*, maka bentuk fisik sebuah BTS adalah tower dengan dilengkapi antena sebagai *transceiver*. Sebuah BTS dapat mengcover area sejauh 35 km. Area cakupan BTS ini disebut juga dengan *cell*. Sebuah *cell* dapat dibentuk oleh sebuah BTS atau lebih, tergantung dari bentuk *cell* yang diinginkan. Fungsi dasar BTS adalah sebagai *Radio Resource Management*, yaitu melakukan fungsi-fungsi terkait dengan :

- Meng-assign *channel* ke MS pada saat MS akan melakukan hubungan.
- Menerima dan mengirimkan sinyal dari dan ke MS, juga mengirimkan atau menerima sinyal dengan frekuensi yang berbeda dengan hanya menggunakan satu antena yang sama.
- Mengontrol *power* yang ditransmitkan ke MS.
- Ikut mengontrol proses *handover*.
- *Frequency hopping*.

b. *Base Station Controller (BSC)*

BSC adalah perangkat yang mengontrol kerja BTS-BTS yang secara hirarki berada dibawahnya. BSC merupakan *interface* yang menghubungkan antara BTS dan MSC (*Mobile Switching Center*). BSC secara umum memiliki fungsi sebagai berikut :

- Melakukan fungsi *radio resource management* pada BTS-BTS yang ada dibawahnya.
- Mengontrol proses *handover inter* BSC dan juga ikut serta dalam proses *handover intra* BSC.
- Menghubungkan BTS-BTS yang ada dibawahnya dengan OMC (*Operation and Maintenance Center*) sebagai pusat operasi dan *maintenance*.
- Ikut terlibat dalam proses *Call Control* seperti *call setup*, *routing*, mengontrol dan melakukan *terminate call*.
- Melakukan dan mengontrol proses *timing advance control*, yaitu mengontrol sinyal-sinyal yang diterima MS yang bergerak, sehingga tidak saling *overlap*.

2.1.2.3 Network Switching Sub-system (NSS)

Network Switching Sub-system (NSS) merupakan bagian arsitektur GSM yang berfungsi untuk menghubungkan antara pengguna yang melakukan panggilan dengan pengguna lainnya yang sama menggunakan seluler ataupun yang berbeda jaringan. [2]. NSS memiliki beberapa bagian yaitu [5] :

a. Mobile Switching Center (MSC)

MSC adalah network element central dalam sebuah jaringan GSM. Semua hubungan (*voice call* / transfer data) yang dilakukan oleh *mobile subscriber* selalu menggunakan MSC sebagai pusat pembangunan hubungannya. Pada umumnya, MSC memiliki fungsi-fungsi sebagai berikut :

- *Switching dan Call Routing* : Sebuah MSC mengontrol proses pembangunan hubungan (*call set up*), mengontrol hubungan yang telah terbangun, dan *me-release call* apabila hubungan telah selesai. Dalam hal ini, MSC akan berkomunikasi dengan banyak *network element* lain seperti NE, BSS, VAS, dan IN. MSC juga melakukan fungsi *routing call* ke PLMN lain (operator seluler lain ataupun jaringan PSTN).
- *Charging* : Untuk pelanggan *pre-paid*, MSC akan selalu berkomunikasi dengan IN yang melakukan fungsi *online charging*. Selain itu, MSC juga akan mencatat semua informasi tentang sebuah *call* dalam bentuk CDR (*Call Detail Record*).

- Berkomunikasi dengan *network element* lainnya (HLR, VLR, IN, *network element* VAS, dan MSC lainnya) : MSC akan berkomunikasi dengan HLR dan VLR terutama dalam proses pembangunan hubungan (*call set up*), *call routing* (di HLR disimpan lokasi terakhir MS tujuan dan untuk *merouting call* tersebut ke MS yang sedang meng-cover MS tujuan, HLR akan meminta informasi *routing* ke MSC yang sedang meng-cover MS pemanggil) dan *call release*. MSC akan berhubungan dengan *network element* VAS seperti SMSC, MMSC, RBT server, dll, dalam rangka proses *delivery content service-service* VAS tersebut ke MS tujuan. MSC akan berhubungan dengan MSC lain dalam hal proses *call setup* (termasuk *call routing*), dan juga mengontrol proses *handover* antar *cell* yang terletak pada 2 MSC yang berbeda.
- Mengontrol BSC yang terhubung dengannya : Sebuah MSC dapat terhubung dengan 1 BSC atau lebih. MSC akan mengontrol dan berkomunikasi dengan BSC dalam hal *call setup*, *location update*, *handover* inter MSC (*handover* antara 2 *cell* yang terdapat pada 2 BSC yang berbeda tapi masih dalam 1 MSC yang sama).

b. *Home Location Register (HLR)*

HLR adalah *network element* yang berfungsi sebagai sebuah *database* sebagai penyimpan semua data dan informasi mengenai pelanggan yang tersimpan secara permanen, dalam arti tidak tergantung pada posisi pelanggan. HLR bertindak sebagai pusat informasi pelanggan yang setiap waktu akan diperlukan oleh VLR untuk merealisasi terjadinya komunikasi pembicaraan. VLR selalu berhubungan dengan HLR dan memberikan informasi posisi terakhir dimana pelanggan berada. Informasi lokasi ini akan diupdate apabila pelanggan berpindah dan memasuki *coverage area* suatu MSC yang baru. Informasi-informasi yang disimpan di HLR adalah :

- Identitas pelanggan (IMSI, MSISDN).
- *Supplementary service* pelanggan.
- Informasi lokasi terakhir pelanggan.
- Informasi *autentikasi* pelanggan.

HLR juga akan selalu berkomunikasi dengan AuC dalam hal melakukan *retrieving* parameter autentikasi yang baru setiap saat sebelum segala jenis aktivitas pelanggan dilakukan.

c. *Visitor Location Register (VLR)*

VLR adalah *network element* yang berfungsi sebagai sebuah *database* yang menyimpan data dan informasi pelanggan, dimulai pada saat pelanggan memasuki suatu area yang bernaung dalam wilayah MSC VLR (setiap MSC akan memiliki 1 VLR sendiri) tersebut. Informasi pelanggan yang ada di VLR ini pada dasarnya adalah *copy*-an dari informasi pelanggan yang ada di HLR-nya. Adanya informasi mengenai pelanggan dalam VLR memungkinkan MSC untuk melakukan hubungan baik *incoming* (panggilan masuk) maupun *outgoing* (panggilan keluar). VLR bertindak sebagai *database* pelanggan yang bersifat dinamis, karena selalu berubah setiap waktu, menyesuaikan dengan pelanggan yang memasuki atau berpindah dalam suatu area cakupan suatu MSC.

Data yang tersimpan dalam VLR secara otomatis akan selalu berubah mengikuti pergerakan pelanggan. Ketika pelanggan bergerak meninggalkan area suatu MSC dan menuju area MSC lainnya, maka informasinya akan dicatat di VLR MSC barunya dan dihapus dari VLR sebelumnya. Dengan demikian posisi pelanggan dapat dimonitor secara terus menerus dan hal ini akan memungkinkan MSC untuk melakukan penyambungan pembicaraan atau SMS dari dan ke pelanggan satu dengan pelanggan lain. VLR selalu berhubungan secara intensif dengan HLR yang berfungsi sebagai sumber data pelanggan.

Bila sebuah MS bergerak keluar *coverage area* suatu MSC menuju *coverage* MSC yang lain, maka yang terjadi adalah:

- VLR MSC yang baru akan *check* di *database*-nya apakah *record* MS tersebut sudah ada atau belum. Proses pengecekan dilakukan dengan menggunakan IMSI.
- Jika *record*-nya belum ada, maka VLR akan mengirimkan *request* ke HLR MS tersebut untuk mengirimkan *copy*-an data MS tersebut yang ada di HLR-nya.
- HLR akan mengirimkan informasi MS tersebut ke VLR tujuan dan juga meng-*update* informasi lokasi MS tersebut di *database* HLR. HLR kemudian akan mengintruksikan VLR sebelumnya untuk menghapus informasi MS tersebut di *database*-nya.
- VLR yang baru akan menyimpan informasi MS tersebut, termasuk lokasi terakhir dan statusnya.

d. *Authentication Center (AuC)*

AuC menyimpan semua informasi yang diperlukan untuk memeriksa keabsahan pelanggan, sehingga usaha untuk mencoba mengadakan hubungan pembicaraan bagi pelanggan yang tidak sah dapat dihindarkan. Disamping itu AuC berfungsi untuk menghindari adanya pihak ke tiga yang secara tidak sah mencoba untuk menyadap pembicaraan. Dengan fasilitas ini, maka kerugian yang dialami pelanggan sistem selular analog saat ini akibat banyaknya usaha memparalel, tidak mungkin terjadi lagi pada GSM. Sebelum proses penyambungan *switching* dilaksanakan, sistem akan memeriksa terlebih dahulu, apakah pelanggan yang akan mengadakan pembicaraan adalah pelanggan yang sah atau tidak.

AuC menyimpan informasi mengenai *authentication* dan *chipering key*. Karena fungsinya yang mengharuskan sangat khusus, *authentication* mempunyai algoritma yang spesifik, disertai prosedur *chipering* yang berbeda untuk masing-masing pelanggan. Kondisi ini menyebabkan AuC memerlukan kapasitas memori yang sangat besar. Wajar apabila GSM memerlukan kapasitas memori sangat besar pula. Karena fungsinya yang sangat penting, maka operator selular harus dapat menjaga keamanannya agar tidak dapat diakses oleh personil yang tidak berkepentingan. Personil yang mengoperasikan dilengkapi dengan *chipcard* dan juga *password* identitas dirinya.

e. *Equipment Identity Registration (EIR)*

EIR memuat data-data peralatan pelanggan (*Mobile Equipment*) yang diidentifikasi dengan IMEI (*International Mobile equipment Identity*). Data *Mobile Equipment* yang di simpan di EIR dapat dibagi atas 3 (tiga) kategori:

- Peralatan yang diijinkan untuk mengadakan hubungan pembicaraan kemanapun.
- Peralatan yang dibatasi dan hanya diijinkan mengadakan hubungan pembicaraan ketujuan yang terbatas.
- Peralatan yang sama sekali tidak diijinkan untuk berkomunikasi.

Kebaradaan EIR belum distandardisasi secara penuh, oleh karena itu belum dioperasikan di semua operator. Masih diperlukan klasifikasi dan penyempurnaan yang berkaitan dengan aspek hukum. Di Indonesia sendiri, belum ada operator seluler yang mengimplementasikan EIR. Bila EIR digunakan, maka operator dapat melakukan pemblokiran terhadap *handset* (bukan pemblokiran nomor pelanggan, tapi

pemblokiran pesawat teleponnya) yang digunakan oleh pelanggan. Sehingga apabila ada *handset* pelanggan yang hilang, maka pelanggan dapat mengajukan agar *handset* tersebut diblokir sehingga tidak akan pernah dapat digunakan lagi oleh orang lain. Dengan pengimplementasian EIR ini tentu akan dapat mengurangi kasus-kasus pencurian *handphone*, karena si pemilik dapat meminta agar *handphone*-nya yang sudah dicuri diblokir dan tidak dapat digunakan lagi. Sehingga motivasi para pencuri untuk melakukan pencurian *handphone* akan berkurang.

2.1.2.4 Operation and Support System (OSS)

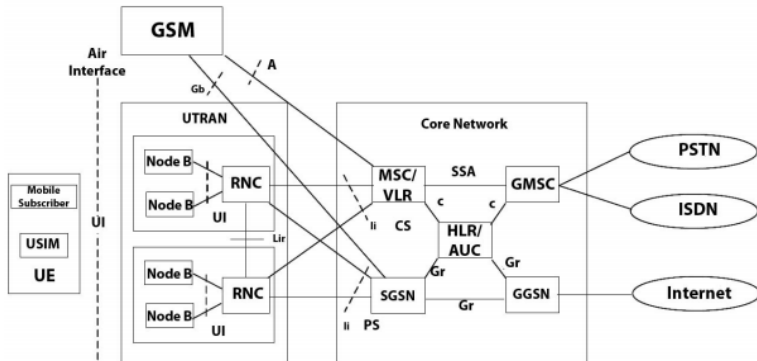
Operation and Support System (OSS) sering juga disebut dengan *OMC (Operation and Maintenance Center)*, adalah *sub-system* jaringan GSM yang berfungsi sebagai pusat pengendalian dan *maintenance* perangkat (*network element*) GSM yang terhubung dengannya. Tiap-tiap *network element* mempunyai perangkat OMC-nya sendiri-sendiri, misalnya *network element* NSS mempunyai perangkat OMC sendiri, *network element* BSS mempunyai perangkat OMC sendiri, *network element* VAS juga memiliki perangkat OMC sendiri. Biasanya, di banyak operator semua perangkat OMC ini diletakan di dalam satu ruangan OMC yang terpusat. OMC pada umumnya memiliki fungsi-fungsi sebagai berikut :

- *Fault Management* : memonitor keadaan/kondisi tiap-tiap *network element* yang terhubung dengannya. Dalam hal ini, OMC akan selalu menerima alarm dari *network element* yang menunjukkan kondisi di *network element* yang dimonitor, apakah ada *problem* di *network element* atau tidak.
- *Configuration Management* : sebagai *interface* untuk melakukan atau merubah konfigurasi *network element* yang terhubung dengannya.
- *Performance Management* : beberapa OMC ada yang dilengkapi juga dengan fungsi *performance management*, yaitu fungsi untuk memonitor *performance* dari *network element* yang terhubung dengannya.
- *Inventory Management* : OMC juga dapat berfungsi sebagai *inventory management*, karena di *database* OMC terdapat informasi tentang aset yang berupa *network element*, seperti

jumlah dan konfigurasi seluruh *network element*, dan juga kapasitas *network element*. [5]

2.1.3 Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)

Universal Mobile Telecommunication System (UMTS), merupakan teknologi generasi ketiga (3G) untuk GSM. Teknologi ini menggunakan *Wideband-AMR (Adaptive Multi-Rate)* untuk kodifikasi suara sehingga kualitas suara yang didapat menjadi lebih baik dari generasi sebelumnya. Sementara kecepatan UMTS atau WCDMA masih 384 kbps. Pada *Wideband CDMA* terdapat sistem *Direct-Sequence Code Division Multiple Access (DS-CDMA)* pita lebar, yaitu bit informasi dari pelanggan tersebar melalui *bandwidth* yang lebar dengan cara *multiply* data pelanggan dengan *chip* yang dibentuk dari *CDMA spreading codes*. W-CDMA merupakan *focus primer* oleh standard 3GPP. Arsitektur jaringan UMTS terlihat pada Gambar 2.3 berikut ini [6]:



Gambar 2. 3 Arsitektur Jaringan UMTS [22]

2.1.3.1 Kapasitas Kanal UMTS

Kapasitas kanal UMTS yang dimaksud adalah banyaknya kanal tiap sel (N_{user} / sel) yang terdapat pada sebuah BTS UMTS. Untuk dapat mengetahui banyaknya kanal yang tersedia pada satu sel BTS dapat digunakan rumus pada persamaan berikut [7]:

$$N_{sel} = 1 + \frac{W/R}{Eb/No} \cdot \frac{\alpha}{(1+i)v} \quad (2.1)$$

dimana:

N_{sel} = jumlah kanal per sel

W = *chiprate*

R = *bitrate* pengguna

E_b/N_0 = energi sinyal per *bit*

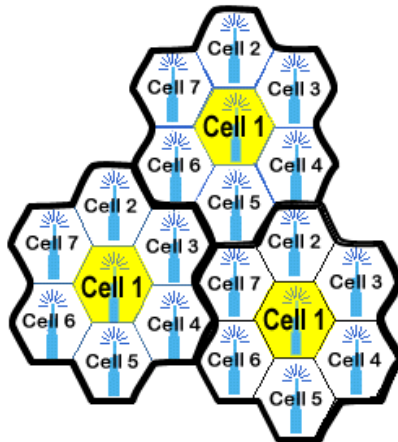
α = faktor koreksi kontrol daya yang dipengaruhi beban sel

i = interferensi *co-channel* sel lain terhadap sel sendiri

v = faktor aktifitas pengguna

2.1.4 Frekuensi Reuse

Frekuensi *Reuse* adalah penggunaan kembali frekuensi yang sama di area yang berbeda dengan mempertimbangkan efek interferensi. Frekuensi *reuse* dilakukan karena alasan keterbatasan spektrum frekuensi, keterbatasan *coverage area cell*, menambah jumlah kanal frekuensi dan untuk efisiensi frekuensi yang dimiliki. Antara *cell-cell* yang bersebelahan tidak boleh menggunakan frekuensi yang sama atau berdekatan agar tidak terjadi interferensi. Pada konsep frekuensi *reuse*, suatu kanal frekuensi tertentu dapat melayani beberapa panggilan pada waktu yang bersamaan. Maka dapat dikatakan penggunaan spektrum frekuensi yang efisien dapat dicapai. Semua frekuensi yang tersedia dapat digunakan oleh tiap-tiap *cell*, sehingga dapat mencapai kapasitas jumlah pemakai yang besar menggunakan pita frekuensi yang efektif. [8]



Gambar 2. 4 Mekanisme Frekuensi Reuse [9]

2.1.5 Handover

Handover atau yang biasa juga disebut *handoff* merupakan suatu proses pengalihan *Radio Base Station (RBS)* apabila pengguna melakukan suatu panggilan dalam keadaan bergerak dari satu sel menuju sel yang lainnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Proses ini terjadi agar pelanggan dapat mengirim atau menerima sinyal dengan baik meskipun pelanggan sedang dalam keadaan bergerak. Terdapat dua kondisi untuk dilakukannya proses *handover*, yaitu [8]:

1. Ketika *Mobile Station (MS)* berada pada perbatasan level sel, karena sinyal yang diterima MS akan melemah.
2. Pada saat pengguna berada pada lubang kekuatan sinyal (*Sinyal Strength Hole*) yang terdapat dalam suatu sel.

2.1.6 Interferensi

Parameter kerja sistem komunikasi seluler dibatasi oleh interferensi. Interferensi pada kanal suara dapat menyebabkan *cross-talk*, sedangkan interferensi pada kanal kontrol dapat menyebabkan *cross-blocking*. Ada dua macam jenis interferensi yaitu interferensi antar kanal atau *co-channel interference (CCI)* dan interferensi kanal sebelah atau *adjacent channel interference*. Penyebab terjadinya interferensi antara lain [8]:

1. *Mobile Station (MS)* lain dalam satu sel.
2. Panggilan dalam proses dari sebelah.
3. *Base Station* lain yang beroperasi pada frekuensi yang sama.
4. Peralatan lain.

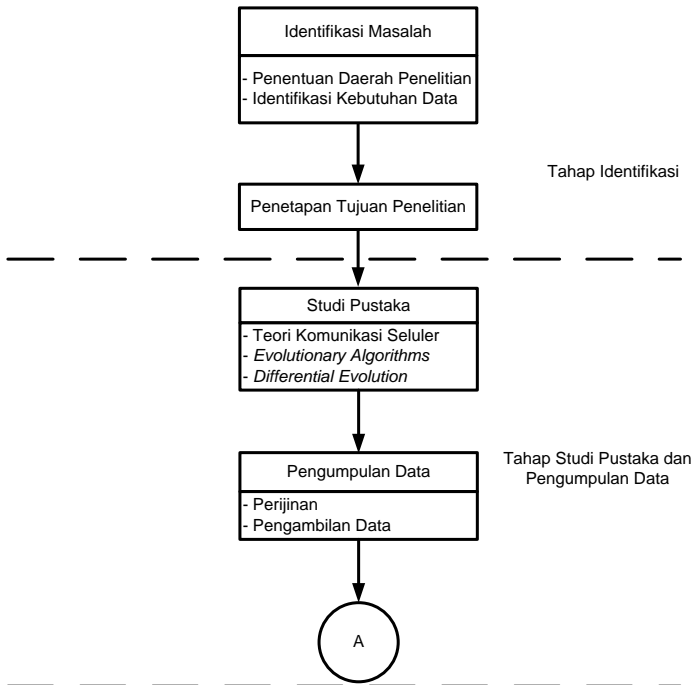
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

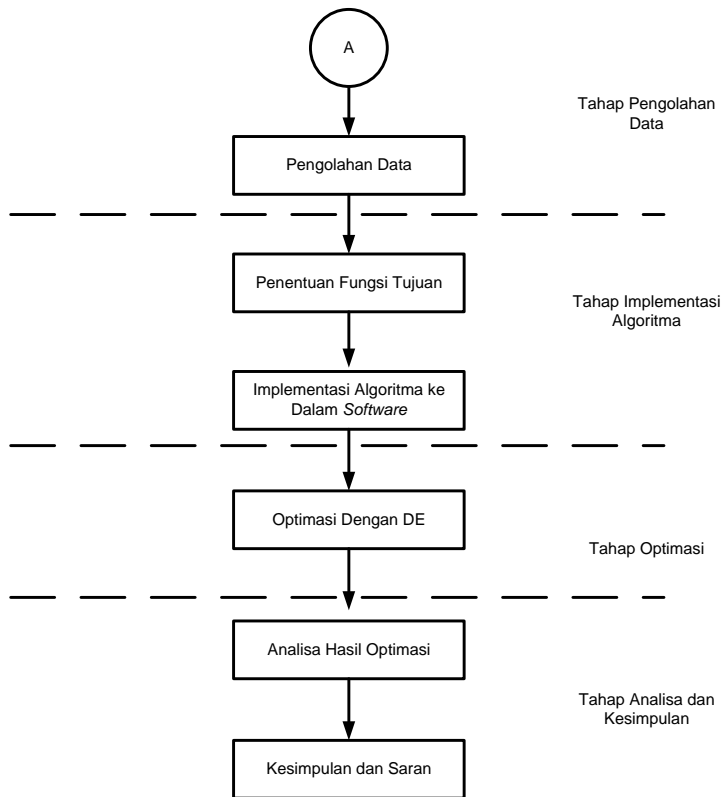
Metodologi penelitian yang ditampilkan pada sub bab ini disusun secara sistematis dan terarah yang dijadikan sebagai kerangka penelitian ilmiah. Proses berjalannya penelitian diharapkan sesuai dengan apa yang tertuang dalam metodologi penelitian dan hasilnya sesuai dengan apa yang tertulis pada sub bab perumusan masalah dan tujuan.

3.1 Flowchart Penelitian

Langkah-langkah melakukan penelitian diuraikan menjadi enam tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3. 1 *Flowchart* Metodologi Penelitian



Gambar 3. 1 *Flowchart* Metodologi Penelitian (Lanjutan)

Langkah-langkah pelaksanaan penelitian yang telah digambarkan dalam *flowchart* pada Gambar 3.1 akan dijelaskan sebagai berikut.

3.1.1 Tahap Identifikasi

Pada tahapan awal penelitian tugas akhir ini, dilakukan identifikasi permasalahan yaitu bagaimana menempatkan menara BTS secara optimal sehingga dapat mencakup daerah yang lebih luas dengan menggunakan algoritma *Differential Evolution*.

Setelah mengidentifikasi permasalahan, maka selanjutnya dilakukan proses penentuan daerah penelitian dan kebutuhan data yang akan digunakan untuk dapat memecahkan permasalahan yang ada.

3.1.2 Tahap Studi Pustaka dan Pengumpulan Data

Literature review mengenai teori komunikasi seluler dan Algoritma *Differential Evolution* dilakukan pada tahapan studi pustaka. Tujuan dilaksanakan studi pustaka ini supaya penelitian ini memiliki pedoman secara teori sehingga permasalahan yang diangkat dapat terselesaikan.

Setelah studi pustaka dilakukan, maka dapat diketahui data-data apa saja yang dibutuhkan untuk menunjang penelitian ini. Pengumpulan data memanfaatkan data yang berasal dari Dinas Pendapatan Daerah Kabupaten Mojokerto tahun 2014.

3.1.3 Tahap Pengolahan Data

Pada tahapan ini data yang telah diperoleh kemudian diolah untuk menghasilkan beberapa parameter yang nantinya digunakan dalam pengembangan model yang akan dilakukan. Pengolahan data yang dilakukan meliputi, kordinat vektor x dan y dari kordinat lintang dan bujur dari menara BTS eksisting, jarak antar titik menara, dan radius cell dari menara BTS.

Pengolaha data dilakukan untuk dapat memprediksi kebutuhan komunikasi seluler dan beberapa parameter yang nantinya akan digunakan dalam proses optimasi.

3.1.4 Tahap Implementasi Algoritma

Pada tahapan ini dilakukan implementasi algoritma *Differential Evolution* untuk menyelesaikan permasalahan penempatan menara BTS secara optimal dengan mencari solusi optimal dari tujuan optimasi yang akan dilakukan. Dalam tahapan ini dilakukan proses penentuan fungsi tujuan optimasi dan proses implementasi algoritma *Differential Evolution* ke dalam *software MATLAB*.

Penentuan fungsi tujuan optimasi didasarkan pada perhitungan luas daerah cakupan dari beberapa lingkaran yang saling beririsan, dalam hal ini lingkaran diasumsikan sebagai daerah cakupan dari sel yang mempunyai radius tertentu.

3.1.5 Tahap Optimasi

Pada tahapan optimasi ini akan dilakukan proses evaluasi *fitness function* atau fungsi tujuan yang telah ditentukan sehingga akan didapatkan suatu nilai hasil dari evaluasi fungsi tujuan yang digunakan. Dalam tahapan optimasi ini dilakukan pencarian kombinasi terbaik dari peletakan menara agar dapat menghasilkan luas daerah cakupan yang lebih optimal sehingga dapat memperluas daerah cakupan ataupun mengurangi daerah irisan antar sel yang sudah ada.

Hasil optimal dari proses optimasi nantinya akan digunakan sebagai acuan dalam penempatan titik potensial dari menara agar dapat mengoptimalkan daerah cakupan sel sehingga daerah irisan antar sel akan berkurang.

3.1.6 Tahap Analisa dan Kesimpulan

Hasil dari implementasi dan optimasi menggunakan algoritma *Differential Evolution* akan dilakukan analisis secara mendalam terhadap perancangan yang sudah ada di lapangan saat ini. Analisa yang dilakukan berdasarkan pada analisa *coverage* sel yang dihasilkan dari proses optimasi.

Kemudian dari hasil analisa tersebut akan ditarik kesimpulan dari keseluruhan proses penelitian yang isinya dapat menjawab tujuan dari pelaksanaan penelitian tugas akhir.

3.2 Identifikasi

Pada tahapan awal penelitian tugas akhir ini, dilakukan identifikasi permasalahan penentuan daerah penelitian dan kebutuhan data dalam penentuan tujuan penelitian yaitu untuk mengoptimalkan menempatkan menara BTS sehingga dapat mencakup daerah yang lebih luas dengan menggunakan algoritma *Differential Evolution*.

3.2.1 Penentuan Daerah Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan daerah observasi di wilayah Kabupaten Mojokerto yang berada di provinsi Jawa Timur, Indonesia.

Letak geografis kabupaten Mojokerto berada diantara $7^{\circ}18'10,51''$ sampai dengan $7^{\circ}46'44,59''$ lintang selatan dan $112^{\circ}19'58,1''$ sampai dengan $112^{\circ}40'15,16''$ bujur timur dan berbatasan langsung dengan Kabupaten Lamongan dan Kabupaten Gresik di sebelah utara, Kabupaten Sidoarjo dan Pasuruan di sebelah timur, Kabupaten Malang dan Kota Batu di sebelah selatan, dan Kabupaten Jombang di sebelah barat.

Secara administratif wilayah Mojokerto terdiri dari 18 kecamatan 299 desa dan 5 kelurahan yang memiliki luas wilayah secara keseluruhan sebesar $969,36 \text{ km}^2$, dimana wilayah Kecamatan Dawarblandong merupakan kecamatan dengan luas wilayah terbesar, diikuti dengan kecamatan Ngoro dan kecamatan Jetis yang mempunyai luas wilayah terbesar kedua dan ketiga. [19]

3.2.2 Kebutuhan Data

Identifikasi dan analisis kebutuhan data diperlukan untuk mempermudah dalam melakukan proses perhitungan *power link budget* dan tahapan pengembangan model yang diharapkan. Dalam penelitian ini, data yang dibutuhkan adalah :

- a. Peta digital.
- b. Data lokasi kordinat menara eksisting.
- c. Data tinggi menara.
- d. Data jumlah penduduk.
- e. Data daya pancar antena.
- f. Data pengguna telepon seluler.
- g. Daftar regulasi berkaitan dengan perencanaan kebutuhan menara telekomunikasi.

3.2.2.1 Peta Digital

Pada penelitian ini, peta digital yang digunakan adalah peta wilayah Mojokerto berbasis *MapInfo* seperti ditunjukan pada Gambar 3.2. Peta digital ini digunakan untuk menampilkan kondisi geografis dan penempatan titik-titik kordinat menara BTS eksisting maupun menara BTS hasil optimasi beserta daerah cakupan yang dihasilkan dari menara-menara BTS tersebut. Peta digital ini diperoleh dari Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional.

Pada peta digital tersedia beberapa *layer* yang dapat kita tentukan sendiri mana yang akan ditampilkan ke permukaan. Setiap

layer-layer dibedakan berdasarkan beberapa warna. Layer-layer tersebut membentuk peta secara utuh Kabupaten Mojokerto. Layer-layer tersebut diantaranya adalah layer untuk area pertanian, tambak, hutan, area golf, danau, area terbuka, daerah penanaman tanaman, area rumah penduduk, industri, jalan raya, batas wilayah, sungai, jalan kereta api, dan morfologi area.

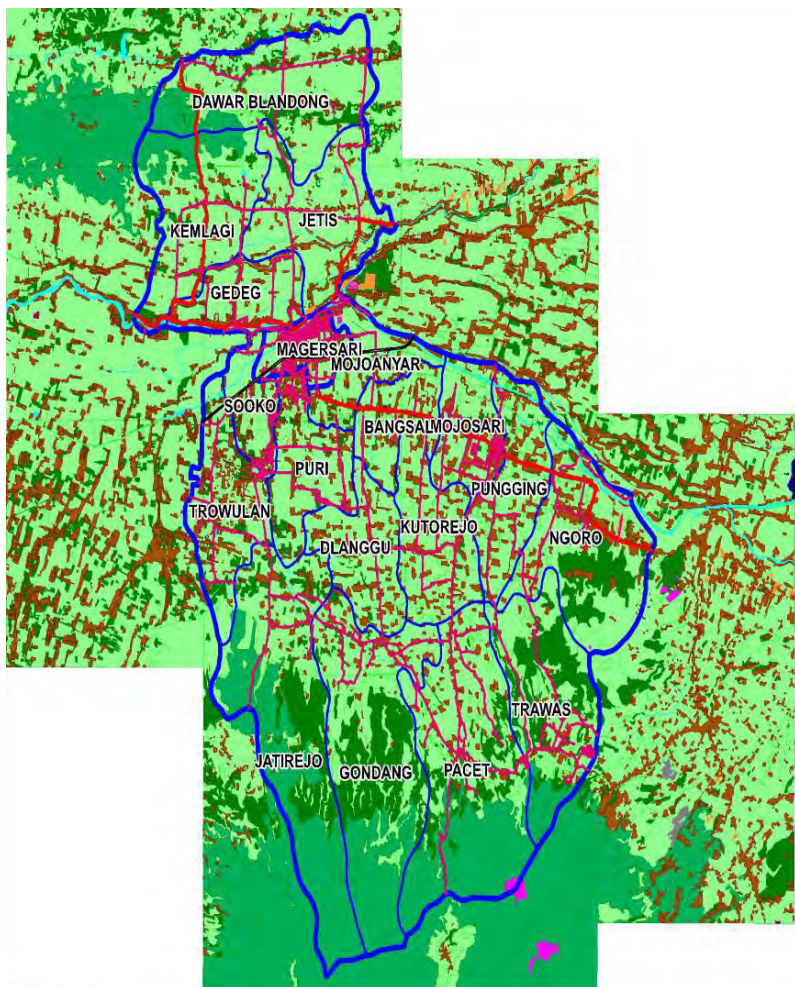
3.2.2.2 Data Menara Eksisting

Kebutuhan data menara eksisting sangat diperlukan, karena data ini merupakan data primer yang akan digunakan untuk proses pengolahan data lebih lanjut. Dalam pengumpulan data persebaran menara eksisting dilakukan dengan dua metode. Metode pertama yang dilakukan adalah dengan mengajukan surat permohonan ijin penelitian dan bantuan data ke Dinas Pendapatan Daerah Kabupaten Mojokerto. Metode yang kedua adalah dengan melakukan survei lapangan secara langsung.

Data menara eksisting tersebut berisi data koordinat longitude, latitude, tinggi menara (m), pemilik menara, operator 1, operator 2, operator 3, operator 4, desa, dan kecamatan. Data menara eksisting ini digunakan untuk proses optimasi penempatan menara BTS dengan menggunakan Algoritma *Differential Evolution*.

3.2.2.3 Data Jumlah Penduduk

Menurut hasil registrasi penduduk akhir tahun 2012, jumlah penduduk Kabupaten Mojokerto adalah 1.143.747 jiwa dengan laju pertumbuhan sebesar 0,03%. Kepadatan penduduk rata-rata Kabupaten Mojokerto di akhir tahun 2012 adalah 1.652 jiwa setiap km². Dan diantara kecamatan yang ada, kecamatan Sooko merupakan kecamatan terpadat, dengan kepadatan sebesar 3.315 jiwa per km². Untuk data jumlah penduduk tiap kecamatan pada tahun 2012 terdapat pada Tabel 3.1. Pada Tabel 3.1 dapat diketahui bahwa ada beberapa kecamatan yang memiliki laju pertumbuhan penduduk negatif ataupun tidak memiliki laju pertumbuhan penduduk. Kecamatan Bangsal dan Puri yang memiliki laju pertumbuhan negatif, dan kecamatan Mojoanyar yang tidak memiliki laju pertumbuhan penduduk. Data jumlah penduduk ini digunakan untuk memprediksi jumlah pengguna seluler dan kebutuhan trafik untuk kurun waktu 5 tahun kedepan di setiap kecamatan di Kabupaten Mojokerto. [21]



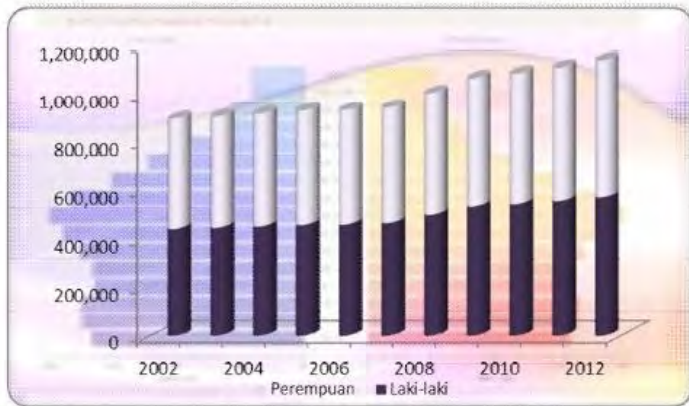
Gambar 3. 2 Peta Digital Kabupaten Mojokerto [20]

Tabel 3. 1 Jumlah dan Pertumbuhan Penduduk Mojokerto tahun 2012 [21]

No	Kecamatan	Pertumbuhan (%)	2012
1	Jatirejo	0,93	44395
2	Gondang	0,66	44664
3	Pacet	0,87	59210
4	Trawas	0,75	31419
5	Ngoro	1,56	81728
6	Pungging	1,37	77903
7	Kutorejo	1,06	65459
8	Mojosari	1,15	79981
9	Bangsals	-1,98	52687
10	Mojoanyar	0	51247
11	Dlanggu	1,21	57583
12	Puri	-1,65	77741
13	Trowulan	1,31	77811
14	Sooko	1,69	77781
15	Gedek	0,76	60757
16	Kemlaji	0,74	61885
17	Jetis	1,63	87353
18	Dawarblandong	0,72	54143
Jumlah		0,71% #	1143747 ##

Keterangan: # = Rata-rata pertumbuhan penduduk

= Total jumlah penduduk



Gambar 3. 3 Jumlah Penduduk Menurut Jenis Kelamin 2002-2012 [21]

Pada Gambar 3.3 menunjukkan jumlah penduduk di Kabupaten Mojokerto dilihat menurut jenis kelamin penduduk dari tahun 2002 sampai tahun 2012. Dari gambar tersebut maka dapat diketahui bahwa jumlah penduduk di Kabupaten Mojokerto dari tahun 2002 sampai dengan tahun 2012 terus mengalami penambahan baik untuk jenis kelamin perempuan maupun laki-laki.

3.2.2.4 Daya Pancar Antena

Daya pancar antena BTS sangat diperlukan untuk melakukan analisa perhitungan *coverage area* untuk masing-masing BTS. Pada penelitian ini menggunakan asumsi daya pancar pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 berdasarkan standar ETSI GSM 05.05 version 5.0.0, yakni untuk GSM dengan frekuensi 1800 MHz menggunakan daya pancar maksimum sebesar 4 watt, untuk GSM dengan frekuensi 900 MHz menggunakan daya pancar maksimum sebesar 8 watt. Untuk CDMA menggunakan standart ETSI EN 301 908-4 v6.1.1 dengan daya pancar maksimum untuk CDMA200 sebesar 6,3 watt. Asumsi tersebut berasal dari informasi *engineer* RNP PT. Huawei Tech Investment yang menyebutkan bahwa daya pancar bersifat tidak pasti tergantung dengan kondisi geografis wilayah, dan kebutuhan trafik pelanggan pada saat itu, dan dapat berubah-ubah mengikuti perilaku konsumen.

Tabel 3. 2 Daya Pancar BTS GSM 900 dan BTS GSM 1800 [22]

Kelas	Maksimum GSM 900 Output Power	Maksimum GSM 1800 Output Power	Toleransi	
			Normal	Ekstrim
1	-	1 W (30 dBm)	±2	±2.5
2	8 W (39 dBm)	0.25 W (24 dBm)	±2	±2.5
3	5 W (37 dBm)	4 W (36 dBm)	±2	±2.5
4	2 W (33 dBm)	-	±2	±2.5
5	0.8 W (29 dBm)	-	±2	±2.5
Catatan : daya pancar paling rendah untuk semua kelas GSM 900 adalah 5 dBm dan untuk semua kelas 1800 adalah 0 dBm				

Tabel 3. 3 Daya Pancar CDMA 2000[23]

<i>Mobile Station Class</i>	<i>Lower limit</i>	<i>Upper limit</i>
1	31 dBm (1.25 W)	38 dBm (6.3 W)
2	27 dBm (0.5 W)	34 dBm (2.5 W)
3	23 dBm (0.2 W)	30 dBm (1.0 W)
1	28 dBm (0.63 W)	33 dBm (2.0 W)
2	23 dBm (0.2 W)	30 dBm (1.0 W)
3	18 dBm (63 mW)	27 dBm (0.5 W)
4	13 dBm (20 mW)	24 dBm (0.25 W)
5	8 dBm (6.3 mW)	21 dBm (0.13 W)

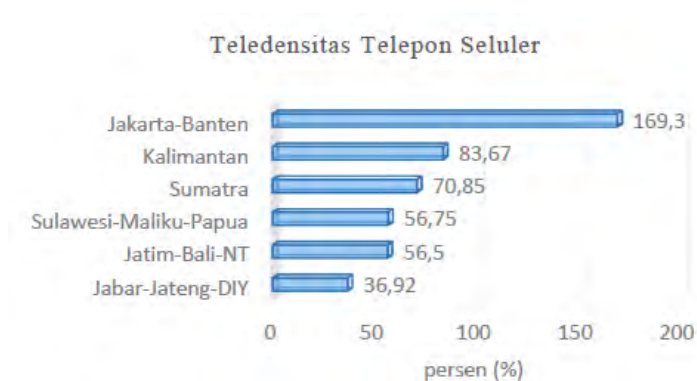
Jadi penelitian ini mengambil asumsi daya pancar maksimal, yaitu untuk GSM 900 menggunakan daya pancar sebesar 5 watt, GSM 1800 menggunakan daya pancar sebesar 4 watt, serta CDMA 2000 menggunakan daya pancar sebesar 6,3 watt. Untuk daya pancar GSM frekuensi 1800 digunakan di daerah yang penduduknya mulai padat (sub urban), sedangkan untuk daya pancar GSM frekuensi 900 digunakan di daerah yang masih sedikit penduduknya (rural). Beberapa operator di Indonesia yang menggunakan teknologi GSM 1800, GSM 900, serta CDMA 200 adalah seperti pada Tabel 3.4. Dari Tabel 3.4 dijadikan

acuan untuk menentukan daya pancar dari masing-masing teknologi (GSM 1800, GSM 900, dan CDMA 2000) yang diatur oleh ETSI EN 301 908-4 v6.1.1 dan juga ETSI GSM 05.05 version 5.0.0. ETSI tersebut mengacu pada daftar etsi yang dimiliki PT. Huawei Tech Investment, MBTS *Initial Data Configuration Based on LMT 2010*. [3]

Tabel 3. 4 Operator Seluler Indonesia [24]

No	Perusahaan Operator	Teknologi	Cakupan lisensi
1	Indosat	GSM 900, UMTS 1800	Nasional
2	Telkomsel	GSM 900, UMTS 1800	Nasional
3	Excelkomindo Pratama	GSM 900, UMTS 1800	Nasional
4	NTS axis	GSM 900, UMTS 1800	Nasional
5	Hutchison CPC	GSM 900, UMTS 1800	Nasional
6	Sampoerna Telekomunikasi Indonesia	CDMA 2000, 2000 EVDO	Nasional
7	Mobile-8	CDMA 2000, 2000 EVDO	Nasional
8	Bakrie Telecom	CDMA 2000, 2000 EVDO	Nasional
9	Telkom (Flexi)	CDMA 2000, 2000 EVDO	Nasional
10	Indosat (Starone)	CDMA 2000, 2000 EVDO	Nasional
11	Sinar Mas Telecom (SMART) d/h Primasel- WIN	CDMA 2000, 2000 EVDO	Nasional

3.2.2.5 Data Pengguna Telepon Seluler



Gambar 3. 4 Pengguna Seluler Menurut Wilayah Tahun 2010 [25]

Dari Gambar 3.4 menunjukkan nilai teledensitas pengguna seluler dalam persen. Untuk daerah Jawa Timur-Bali-Nusa Tenggara nilai teledensitas pengguna seluler sebesar 56,5%. Hal ini menunjukkan bahwa untuk setiap 100 penduduk terdapat sekitar 57 pengguna telepon seluler. Nilai teledensitas tertinggi berada di wilayah Jakarta-Banten yaitu sebesar 169,3%. Hal ini sangat wajar mengingat Jakarta merupakan kota metropolitan sekaligus ibu kota negara yang menjadi pusat bisnis, serta Banten yang merupakan wilayah terdekat dengan Jakarta menjadikan Banten ikut menjadi pusat bisnis dan keramaian yang menyebabkan daerah ini memiliki teledensitas pengguna seluler cukup tinggi dibanding daerah lainnya. Teledensitas terbesar kedua terdapat di wilayah Kalimantan dengan nilai teledensitas sebesar 83,67% yang artinya hampir setiap penduduk di wilayah Kalimantan telah menggunakan telepon seluler.

3.2.2.6 Regulasi

Dalam melakukan penataan dan pengendalian terhadap bertambahnya jumlah menara telekomunikasi, maka diperlukan adanya sebuah landasan hukum dan regulasi yang mengaturnya. Salah satu regulasinya adalah mengenai perijinan pendirian menara seluler yang baru yang diatur dalam regulasi yang ditetapkan oleh masing-masing

pemerintah daerah. Keberadaan menara eksisting juga diprioritaskan untuk dijadikan sebuah menara bersama yang terdiri lebih dari satu operator. Adapun landasan hukum yang menjadi acuan dalam pendirian menara telekomunikasi di wilayah Kabupaten Mojokerto diantaranya adalah [3]:

1. Surat Edaran Direktur Jendral Penataan Ruang, Kementerian Pekerjaan Umum Nomor : 06/SE/Dr/2011 Tentang Kriteria Lokasi Menara Telekomunikasi.
2. Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor : 02/PER/M.KOMINFO/3/2008, Tentang Pedoman Pembangunan dan Penggunaan Menara Bersama Telekomunikasi.
3. Peraturan Bersama Antara Menteri Dalam Negeri, Menteri Pekerjaan Umum, Menteri Komunikasi dan Informatika, dan Kepala Badan Koordinasi Penanaman Modal Tentang Pedoman Pembangunan dan Penggunaan Bersama Menara Telekomunikasi.

3.3 Pengolahan Data

Pada tahapan pengolahan data ini akan dilakukan proses pengolahan terhadap data awal yang telah teridentifikasi kebutuhannya sehingga dapat menghasilkan sejumlah data olahan yang diperlukan. Data hasil pengolahan yang dibutuhkan meliputi data konversi kordinat lintang dan bujur ke dalam bentuk vektor, data radius masing-masing BTS, dan data kebutuhan menara BTS 5 tahun yang akan datang.

Hasil pengolahan data yang dibutuhkan nantinya akan digunakan dalam implementasi algoritma *Differential Evolution*, sehingga dapat diketahui kordinat lokasi optimum pembangunan menara BTS di Kabupaten Mojokerto.

3.3.1 Prediksi Jumlah Penduduk

Prediksi jumlah penduduk dibutuhkan untuk mengetahui perkiraan jumlah penduduk di masa mendatang. Pada penelitian ini dilakukan prediksi jumlah penduduk untuk jangka waktu 5 tahun kedepan, yaitu sampai tahun 2019. Perhitungan prediksi jumlah penduduk di masa mendatang dapat diketahui dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.8) berikut :

$$P_t = P_0 (1 + r)^t$$

Dimana :

P_t = jumlah penduduk pada tahun t (jiwa)

P_0 = jumlah penduduk saat tahun perencanaan (jiwa)

r = laju pertumbuhan penduduk (%)

t = jumlah tahun prediksi.

Tabel 3. 5 Prediksi Jumlah Penduduk dari tahun 2014 sampai 2019

No.	Kecamatan	Prediksi Jumlah Penduduk		
		2014	2018	2019
1	Jatirejo	45225	46931	47368
2	Gondang	45256	46463	46769
3	Pacet	60245	62369	62912
4	Trawas	31893	32860	33107
5	Ngoro	84298	89683	91082
6	Pungging	80053	84530	85689
7	Kutorejo	66855	69735	70474
8	Mojosari	81832	85661	86646
9	Bangsals	50622	46730	45805
10	Mojoanyar	51247	51247	51247
11	Dlanggu	58985	61893	62641
12	Puri	75197	70356	69195
13	Trowulan	79864	84131	85233
14	Sooko	80433	86009	87463
15	Gedek	61685	63581	64064
16	Kemlagi	62805	64685	65163
17	Jetis	90224	96252	97821
18	Dawarblandong	54926	56525	56932
Total		1161645	1199641	1209611

Dengan menggunakan persamaan (2.8) tersebut, maka dapat dihitung perkiraan jumlah penduduk di Kabupaten Mojokerto untuk 5 tahun ke depan sampai tahun 2019. Data perkiraan jumlah penduduk di tahun 2019 ini nantinya akan digunakan untuk memperkirakan jumlah pengguna telepon seluler di tahun 2019 dan kebutuhan jumlah menara BTS baru untuk masing-masing kecamatan di Kabupaten Mojokerto di tahun 2019. Dengan menggunakan nilai laju pertumbuhan penduduk di masing-masing kecamatan, maka dapat dilakukan perhitungan prediksi jumlah penduduk tahun 2019 yang ditunjukkan oleh Tabel 3.5.

3.3.2 Peramalan Kapasitas Total Trafik

Untuk menghitung peramalan jumlah kapasitas total trafik 2G yang dibangkitkan oleh pelanggan, maka dimisalkan intensitas trafik pelanggan sebesar A Erlang dengan asumsi GOS 2%, sehingga total trafik yang dibangkitkan pelanggan dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan (3.1) :

$$T = P \times A \quad (3.1)$$

dimana :

T = total trafik yang dibangkitkan pelanggan (Erlang)

P = jumlah pelanggan seluler

A = intensitas trafik yang dibangkitkan pelanggan (Erlang).

Untuk dapat meramalkan trafik 2G 5 tahun kedepan sampai tahun 2019, maka dibutuhkan beberapa asumsi seperti nilai teledensitas pengguna seluler, dan lama rata-rata panggilan seluler. Nilai teledensitas pengguna seluler untuk wilayah Jawa Timur yaitu sebesar 56,5%, maka pengguna seluler tahun 2019 merupakan hasil kali dari jumlah penduduk tahun 2019 dengan nilai teledensitas 56,5%.

Semisal diambil contoh untuk wilayah kecamatan Gondang yakni :

P = teledensitas x jumlah penduduk tahun 2019

$$= 56,5\% \times 46769$$

$$= 26424 \text{ user}$$

Dengan menggunakan asumsi besarnya rata-rata panggilan pengguna seluler setiap harinya untuk wilayah *rural* sebesar 40 menit, maka besarnya intensitas trafik rata-rata per pelanggan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.6).

$$A = \frac{40}{24 \times 60} = 27,78 \text{ mErlang}$$

Kemudian selanjutnya menghitung total trafik yang dibangkitkan untuk wilayah kecamatan Gondang menggunakan persamaan (3.1) :

$$T = P \times A = 26424 \times 27,78 \text{ mErlang} = 734 \text{ Erlang}$$

Dengan demikian, maka data nilai total trafik 2G yang dapat dibangkitkan pada pengguna seluler di daerah Kabupaten Mojokerto per tahun 2019 adalah seperti terlihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Kebutuhan Trafik 2G Kabupaten Mojokerto tahun 2019

No.	Kecamatan	Intensitas Trafik (mE)	Jumlah Penduduk 2019	User Seluler 2019	Kebutuhan Trafik 2019 (E)
1	Jatirejo	31,25	47368	26763	743
2	Gondang	31,25	46769	26424	734
3	Pacet	31,25	62912	35545	987
4	Trawas	31,25	33107	18705	520
5	Ngoro	31,25	91082	51461	1429
6	Pungging	31,25	85689	48414	1345
7	Kutorejo	31,25	70474	39818	1106
8	Mojosari	31,25	86646	48955	1360
9	Bangsals	31,25	45805	25880	719
10	Mojoanyar	31,25	51247	28955	804
11	Dlanggu	31,25	62641	35392	983
12	Puri	31,25	69195	39095	1086
13	Trowulan	31,25	85233	48157	1338
14	Sooko	31,25	87463	49417	1373
15	Gedek	31,25	64064	36196	1005
16	Kemlagi	31,25	65163	36817	1023
17	Jetis	31,25	97821	55269	1535
18	Dawarblandong	31,25	56932	32167	894
Total			1209611	683430	18984

Untuk menghitung peramalan jumlah kapasitas total trafik 3G yang dibangkitkan oleh pelanggan, maka digunakan perhitungan *Offered Bit Quantity (OBQ)*. OBQ adalah total *bit throughput* per km² pada jam sibuk. OBQ pada jam sibuk untuk suatu area tertentu dihitung berdasarkan beberapa asumsi, yaitu penetrasi *user*, durasi panggilan efektif, *Busy Hour Call Attempt (BHCA)*, dan *bandwidth* dari layanan. Besarnya nilai OBQ dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sum OBQ = \frac{\sigma \times p \times d \times BHCA \times BW}{3600} \quad (3.2)$$

dimana :

σ = Kepadatan pelanggan dalam suatu daerah (*user / km²*)

p = Penetrasi pengguna tiap layanan

d = Durasi panggilan efektif (s)

$BHCA$ = *Busy Hour Call Attempt* (call/s)

BW = *Bandwidth* tiap layanan (Kbps)

Pada penelitian ini menggunakan asumsi nilai penetrasi pengguna layanan 3G sebesar 17,40%, maka pengguna layanan 3G tahun 2019 merupakan hasil kali dari jumlah pengguna seluler tahun 2019 dengan nilai penetrasi layanan 3G 17,40%.

Semisal diambil contoh untuk wilayah kecamatan Gondang yakni :

P = penetrasi layanan 3G x jumlah user seluler tahun 2019

= 17,40% x 26763

= 4657 user

Dengan demikian, maka data nilai total trafik 3G yang dapat dibangkitkan pada pengguna seluler di daerah Kabupaten Mojokerto per tahun 2019 adalah seperti terlihat pada Tabel 3.7. Pada Tabel 3.7 menunjukkan prediksi kebutuhan trafik 3G di Kabupaten Mojokerto untuk kebutuhan tahun 2019 dengan nilai total trafik sebesar 367170 Kbps. Nilai kebutuhan trafik 3G ini didasarkan pada perhitungan jumlah user 3G yang ada di Kabupaten Mojokerto dan juga pada nilai kepadatan pelanggan setiap kilometer.

Tabel 3. 7 Kebutuhan Trafik 3G Kabupaten Mojokerto tahun 2019

No.	Kecamatan	Jumlah Penduduk 2019	Kepadatan Pelanggan (user/km2)	User 3G 2019	Kebutuhan Trafik 2019 (Kbps)
1	Jatirejo	47368	812	4657	14381
2	Gondang	46769	676	4598	14197
3	Pacet	62912	788	6185	19110
4	Trawas	33107	627	3255	10054
5	Ngoro	91082	896	8954	27657
6	Pungging	85689	1006	8424	26006
7	Kutorejo	70474	930	6928	21390
8	Mojosari	86646	1837	8518	26290
9	Bangsals	45805	1076	4503	13902
10	Mojoanyar	51247	1258	5038	15551
11	Dlanggu	62641	1000	6158	19021
12	Puri	69195	1097	6803	21001
13	Trowulan	85233	1229	8379	25871
14	Sooko	87463	2107	8598	26544
15	Gedek	64064	1576	6298	19448
16	Kemlagi	65163	736	6406	19781
17	Jetis	97821	967	9617	29687
18	Dawarblandong	56932	546	5597	17278
Total		1209611		118917	367170

3.3.3 Prediksi Kebutuhan BTS

Untuk mengetahui prediksi kebutuhan BTS di masa yang akan datang, diperlukan perhitungan kapasitas BTS dalam melayani kebutuhan pelanggan dengan cara memperhatikan berapa jumlah TRx yang digunakan pada setiap sektornya. Pada penelitian ini akan memprediksi kebutuhan BTS untuk jaringan 2G dan 3G. Untuk prediksi kebutuhan BTS 2G pada penelitian menggunakan konfigurasi BTS 2G 3x3x3, yang berarti bahwa setiap sektornya terdapat 3 TRx sehingga dapat dilakukan perhitungan kapasitas kanal untuk BTS 2G sebagai berikut :

- 1 sektor terdiri dari 3 TRx
- 1 TRx = 8 kanal atau *timeslot*
- 3 TRx = $8 \times 3 = 24$ kanal atau *timeslot*

Karena disetiap sektornya membutuhkan 1 kanal BCCH (*Broadcast Control Channel*) untuk broadcast dan 1 kanal SDCCH (*Standalone Dedicated Control Channel*) untuk signaling. Sehingga 1 sektor yang terdiri dari 3 TRx mampu melayani $24 - 2 = 22$ panggilan secara teoritis tanpa memperdulikan faktor *interference*, *blocking*, *congestion*, dan sebagainya. Berdasarkan tabel erlang B, dari 22 kanal panggilan dengan asumsi GOS sebesar 2% didapatkan nilai intensitas trafik sebesar 14,9 Erlang. Sehingga untuk 1 buah BTS 2G yang memiliki 3 sektor didapatkan kapasitas BTS 2G sebesar 3 kali nilai 14,9 Erlang atau 44,7 Erlang.

Untuk perhitungan kapasitas kanal BTS 3G digunakan rumus pada persamaan (2.1) dengan menggunakan parameter asumsi pada tabel 3.8.

Tabel 3. 8 Parameter Asumsi Kanal UMTS

Parameter asumsi	
W	3,84 Mbps
R	144 Kbps
Eb/No	1 dB
α	90%
i	0,625
v	2,5

Sehingga perhitungan kapasitas kanal UMTS adalah :

$$N_{sel} = 1 + \frac{3840000/144000}{1,25} \cdot \frac{0,9}{(1+0,625)2,5}$$

$$N_{sel} = 6 \text{ kanal}$$

Maka kapasitas kanal 1 BTS adalah $3 \times 6 = 18$ kanal, dan kapasitas trafik 1 BTS sebesar $18 \times 144000 = 2592$ Kbps/bts.

Dengan mengetahui kapasitas BTS maka kita dapat menghitung kemampuan suatu BTS dalam melayani trafik pelanggan menggunakan persamaan (3.3) sebagai berikut :

$$\text{Kemampuan BTS} = \frac{\text{Kapasitas 1 BTS}}{\text{Trafik per Pelanggan}} \quad (3.3)$$

Untuk prediksi jumlah kebutuhan BTS dalam melayani pelanggan seluler dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.4) berikut :

$$B = \frac{T}{E} \quad (3.4)$$

dimana :

B = jumlah kebutuhan BTS

T = total trafik yang dibangkitkan pelanggan

E = kapasitas 1 BTS

Semisal diambil contoh untuk wilayah kecamatan Gondang, maka kebutuhan BTS 2G dan 3G di kecamatan Gondang tahun 2019 adalah :

$$B_{2G} = \frac{\text{Total Trafik}}{\text{Kapasitas BTS}} = \frac{734 \text{ Erlang}}{44,7 \text{ Erlang}} = 16,42 \approx 17 \text{ BTS}$$

$$B_{3G} = \frac{\text{Total Trafik}}{\text{Kapasitas BTS}} = \frac{14197 \text{ Kbps}}{2592 \text{ Kbps}} = 5,47 \approx 6 \text{ BTS}$$

3.3.4 Prediksi Kebutuhan Menara Baru

Mengacu pada peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor : 02/PER/M.KOMINFO/3/2008, Tentang Pedoman Pembangunan dan Penggunaan Menara Bersama Telekomunikasi, maka persebaran menara telekomunikasi perlu dikendalikan, oleh karena itu perlu dilakukan pengoptimalan kegunaan menara telekomunikasi dengan cara menggunakannya secara bersama oleh beberapa operator

telekomunikasi. Untuk menghitung estimasi kebutuhan jumlah menara digunakan persamaan (3.5) sebagai berikut [2]:

$$M_t = \frac{B_t - B_0}{4} + M_0 \quad (3.5)$$

dimana :

M_t = jumlah menara pada tahun t

M_0 = jumlah menara pada tahun perencanaan

B_t = jumlah kebutuhan BTS pada tahun t

B_0 = jumlah kebutuhan BTS pada tahun perencanaan

4 = jumlah BTS dalam satu menara (asumsi 1 menara dapat digunakan oleh 4 BTS).

Semisal diambil contoh kebutuhan menara untuk wilayah kecamatan Gondang, dengan menggunakan persamaan (3.5) dapat dihitung kebutuhan menara sebagai berikut :

$$M_{2019} = \frac{B_{2019} - B_{2014}}{4} + M_{2014}$$

$$M_{2019} = \frac{17-10}{4} + 6 = 7,75 \approx 8 \text{ Menara}$$

3.3.5 Menghitung Radius Cell

Untuk dapat mengetahui daerah cakupan suatu sel, maka harus diketahui besarnya radius yang dihasilkan oleh sel tersebut. Perhitungan daerah cakupan ini akan digunakan untuk menghitung total area yang mampu *discover* oleh semua menara yang ada di Kabupaten Mojokerto. Untuk menghitung besarnya radius sel digunakan rumus Okumura Hatta pada persamaan (2.3) dengan beberapa parameter tambahan sebagai berikut :

Tabel 3. 9 Parameter Tambahan

Parameter	2G	3G
EIRP	37 dBm	20 dBm
Margin	30 dB	30 dB
Sensitifitas Rx	-102 dBm	-110 dBm
Frekuensi	900 MHz	2082 MHz
hm	1,5 m	1,5 m

Dengan beberapa parameter tambahan pada Tabel 3.9 maka dapat dihitung besarnya radius yang dihasilkan dari sebuah sel di Kabupaten Mojokerto (*rural*) pada layanan 2G dan 3G sebagai berikut :

$$d = 10^{\frac{(MAPL - 69.55 - 26.16 \log f + 13.82 \log h_{BTS} + Q)}{44.9 - 6.55 \log h_{BTS}}}$$

dimana :

MAPL = EIRP – Sentifitas Rx – Margin

$$Q = 4.78(\log f)^2 - 18.33 \log f + 40.94$$

3.3.6 Menghitung Luas Coverage Cell

Perhitungan luas *coverage cell* pada penelitian ini menggunakan pendekatan bentuk luasan *coverage cell* berbentuk lingkaran, sehingga untuk menghitung luas *coverage cell* dapat digunakan rumus luas lingkaran sebagai berikut :

$$\text{Luas coverage cell} = 3,14 \times (d)^2 \quad (3.6)$$

dimana, *d* adalah merupakan radius sel BTS.

3.4 Penentuan Fungsi Tujuan

Tahapan penentuan fungsi tujuan ini akan menghasilkan formulasi matematis fungsi tujuan (*fitness function*) untuk penempatan menara BTS yang dapat mengakomodasi letak koordinat geografis dalam vektor dan total luas *coverage area BTS* yang mampu dihasilkan menggunakan algoritma *Differential Evolution*. Formulasi ini menunjukan fungsi luas total *coverage cell* yang akan diperoleh dengan radius dan jarak tertentu apabila menempatkan beberapa menara BTS pada titik koordinat tertentu. Selain model matematis, tahapan ini juga menghasilkan model *Differential Evolution (DE)* yang disesuaikan dengan permasalahan penempatan menara BTS serta *coding* (model *software*) yang akan dijalankan pada MATLAB.

3.4.1 Pengembangan Formulasi Matematis Fungsi Tujuan

Pada penelitian ini fungsi tujuan dibangun untuk mendapatkan penempatan titik menara BTS yang dapat mengoptimalkan total luas

coverage area BTS yang dihasilkan. Fungsi tujuan (*fitness function*) pada penelitian ini didefinisikan pada persamaan (3.7).

$$F = \sum_{i=1}^n \text{Luas } coverage \text{ cell}(i) - \sum \text{Luas irisan } cell \quad (3.7)$$

dimana :

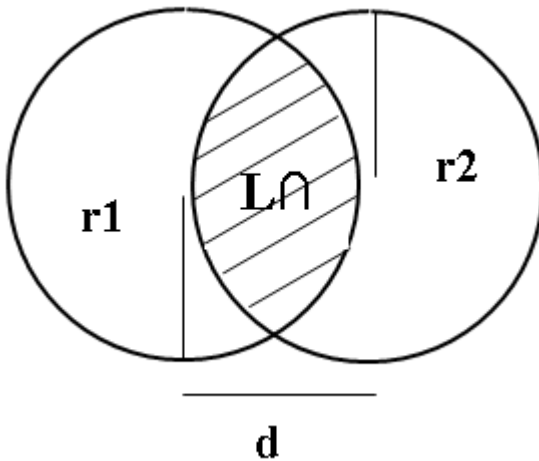
F = luas total *coverage area* BTS

Pengembangan fungsi tujuan pada penelitian ini didasarkan pada ilmu geometri untuk menghitung luas gabungan dari dua buah lingkaran atau lebih yang saling beririsan sehingga didapatkan luas total yang dihasilkan dari beberapa gabungan lingkaran tersebut. Perhitungan luas gabungan lingkaran tersebut adalah dengan melakukan penjumlahan total luas masing-masing lingkaran, kemudian dikurangi dengan luas irisan yang dihasilkan dari lingkaran-lingkaran tersebut. Pemilihan lingkaran sebagai bahan perhitungan luas *coverage area* BTS karena diasumsikan antena BTS memancarkan daya ke segala arah (*omnidirectional*) sehingga mengakibatkan *coverage cell* yang dibentuk oleh BTS adalah berbentuk lingkaran.

Luas *coverage cell* dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan (3.6). Untuk menghitung luas irisan *cell* dapat digunakan rumus pada persamaan (3.8) berikut.[26]

$$\begin{aligned} L \cap &= L \cap (R, d1) + L \cap (r, d2) \\ &= r^2 \cos^{-1} \left(\frac{d^2 + r^2 - R^2}{2dr} \right) - 0.5 \sqrt{(-d + r + R)(d + r - R)(d - r + R)(d + r + R)} \\ &\quad + R^2 \cos^{-1} \left(\frac{d^2 + R^2 - r^2}{2dR} \right) \end{aligned} \quad (3.8)$$

Gambar 3.5 mengilustrasikan daerah irisan antara dua buah lingkaran yang saling beririsan. Irisan kedua buah lingkaran ini dianalogikan seperti luas irisan antar dua buah sel BTS yang saling tumpang tindih satu sama lain. Sehingga dapat dilakukan perhitungan luas daerah irisan yang dihasilkan oleh kedua sel BTS atau lebih.



Gambar 3.5 Ilustrasi irisan sel BTS [27]

Untuk perhitungan jarak antar titik pusat *coverage cell* BTS (d) dapat digunakan rumus pada persamaan (3.9). [27]

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (3.9)$$

3.4.2 Implementasi Algoritma *Differential Evolution*

Differential Evolution (DE) merupakan metode minimasi dan maksimasi yang handal dan efisien dalam mencari titik global optimal. Hal ini dikarenakan adanya proses seleksi stokastik dalam langkah-langkahnya dan kemampuan untuk memproses sejumlah individu secara paralel. Algoritma awal *Differential Evolution* akan dikembangkan sehingga dapat digunakan sebagai alternatif dalam penyelesaian penempatan menara BTS secara optimal.

Adapun penjelasan dari langkah-langkah pengembangan model sesuai dengan *flowchart* pada Gambar 3.6 adalah sebagai berikut :

1. Menentukan parameter yang digunakan untuk menjalankan iterasi.

- a. Parameter penempatan menara BTS seperti jumlah titik koordinat eksisting dan jumlah titik koordinat *blank spot* (NPE dan NPB) yang akan dijadikan sebagai populasi awal, batas atas dan batas bawah koordinat vektor lokasi penempatan menara BTS (LB dan UB), dan jumlah titik optimal yang akan dipilih (NS).
 - b. Parameter DE yaitu *crossover rate* (CR), faktor skala pembeda vektor (F), ukuran populasi (D), dan kriteria penghentian iterasi.
2. Mengevaluasi nilai fungsi tujuan dari populasi vektor awal yang terbentuk. Fase evaluasi ini mempertimbangkan nilai total luas *coverage area* BTS yang telah dihasilkan dari titik-titik kordinat menara eksisting, dimana nilai evaluasi fungsi tujuan ini akan dipilih yang memiliki nilai lebih besar atau sama dengan total luas *coverage area* BTS eksisting tersebut.
 3. Membangkitkan tiga vektor secara acak ($r1$, $r2$, $r3$) untuk setiap vektor individu yang berasal dari populasi yang sama sehingga didapatkan vektor mutan.
 4. Membentuk populasi turunan dengan mengkombinasikan vektor mutan dengan vektor pada populasi awal (*parents*).
 5. Melakukan *update* vektor populasi dengan cara seleksi. Apabila populasi turunan menghasilkan nilai yang lebih baik, maka akan dijadikan populasi baru, dan begitu pula sebaliknya.
 6. Jika *stopping criterion* terpenuhi, maka iterasi akan berhenti. Jika tidak, maka iterasi akan berlanjut dengan kembali ke proses ketiga.

3.4.3 Pengembangan Code

Setelah mendapatkan model matematis serta algoritma *differential evolution* (DE), maka langkah selanjutnya adalah mengembangkan code yang akan dijalankan dengan *software* MATLAB.

3.4.3.1 Inisialisasi

Tahapan inisialisasi dalam DE dimulai dengan penentuan parameter yang mendukung berjalannya proses optimasi. Beberapa parameter tersebut antara lain :

- a. F atau faktor skal pembeda vektor. Parameter ini digunakan pada saat tahapan mutasi vektor. Nilai F mulai

dari 0 sampai dengan 1, namun Price dan Storn merekombinasikan untuk menggunakan nilai F mulai dari 0.5 hingga 1 dan yang digunakan dalam penelitian ini adalah $F = 0.9$.

- b. *Crossover rate (CR)*. Parameter ini digunakan pada saat tahapan *crossover* untuk menghasilkan populasi turunan. Nilai CR yang memiliki kemampuan menyelesaikan berbagai fungsi adalah $0 \leq CR \leq 0.2$ atau $0.9 \leq CR \leq 1$.
- c. *Upper dan Lower Bound*. Batas atas dan batas bawah merupakan batasan dalam menghasilkan populasi. Batas atas nilai vektor sesuai dengan batas maksimal jumlah populasi *blank spot* pada suatu daerah tiap kecamatan. Sedangkan batas bawah nilai vektor sesuai dengan batas minimal jumlah populasi *blank spot* pada suatu daerah tiap kecamatan. Apabila ada vektor yang nilainya diatas batas atas vektor, maka nilai vektor tersebut otomatis berubah menjadi nilai vektor batas atas. Dan begitu pula sebaliknya, apabila ada vektor yang nilainya dibawah batas bawah vektor, maka nilai vektor tersebut otomatis berubah menjadi nilai vektor batas bawah.
- d. Membangkitkan populasi vektor yang berukuran NPBxD yaitu jumlah koordinat vektor yang akan diperhitungkan dikalikan dengan dimensi populasi. Pada penelitian ini dimensi populasi yang digunakan adalah 4.
- e. Populasi vektor yang telah dibangkitkan kemudian dievaluasi dengan cara menghitung nilai fungsinya.

3.4.3.2 *Mutasi*

Pembentukan vektor mutan (v_i) dilakukan dengan mengkombinasikan 3 vektor ($r1$, $r2$, $r3$) yang dipilih secara acak dari populasi vektor yang telah ada dengan F sebagai faktor skala pembeda. Nilai $r1$ dipilih sekali untuk semua vektor yang ada di populasi yang sama, sedangkan $r2$ dan $r3$ dipilih untuk setiap vektor mutan yang akan dibentuk. Proses pembentukan vektor mutan ini dilakukan sebanyak jumlah populasi.

3.4.3.3 *Crossover*

Crossover atau kawin silang akan menggabungkan vektor dari populasi *parents* (pop_i) dengan vektor mutan (v_i). Diawali dengan

membangkitkan bilangan random sebanyak jumlah populasi blank spot ($rand_i$). Apabila nilai CR yang telah ditentukan pada inisialisasi lebih besar dari atau sama dengan nilai $rand_i$, maka vektor i akan tetap berisi v_i . Dan begitu pula sebaliknya bila CR kurang dari nilai $rand_i$, maka vektor i akan berisi pop_i .

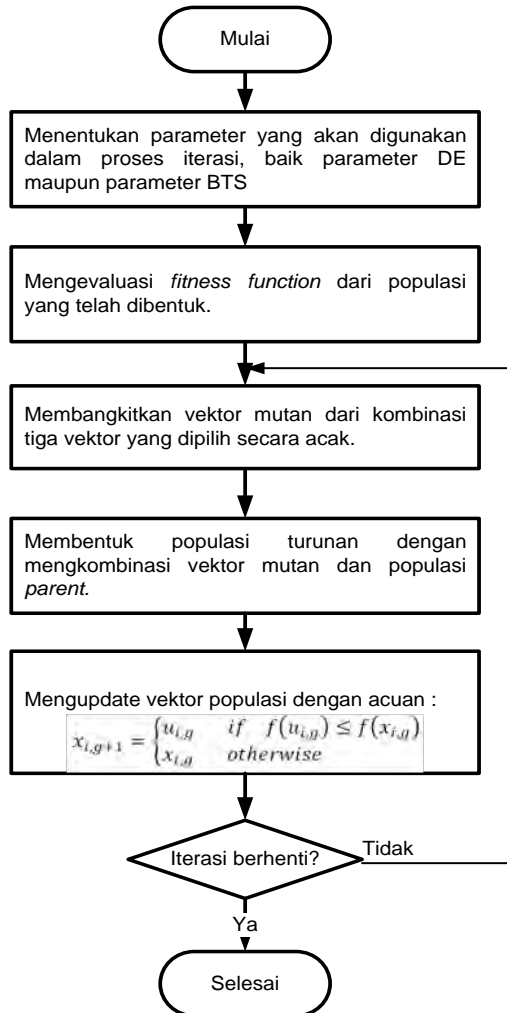
3.4.3.4 Seleksi

Tahapan seleksi embandingkan nilai fungsi obyektif antara populasi *parents* dengan populasi turunan. Populasi turunan yang dihasilkan dari *crossover* kemudian dimasukkan ke dalam fungsi obyektif yang telah dibentuk, apabila nilainya lebih tinggi daripada nilai fungsi populasi *parents*, maka populasi baru akan menggantikan populasi hasil iterasi sebelumnya. Seleksi ini dilakukan untuk ketiga populasi.

Hasil dari seleksi ini kemudian disimpan sebagai nilai baru untuk iterasi berikutnya, antara lain nilai nomer menara, nilai koordinat x , nilai koordinat y , dan nilai radius menara maksimum saat itu. Hasil dari proses seleksi ini akan mengambil sejumlah nilai optimum yang diharapkan sesuai dengan fungsi tujuan yang akan dicapai. Dalam penelitian ini nilai optimum tersebut berupa nilai koordinat menara BTS dan nilai radius sel dari menara BTS tersebut.

3.4.3.5 Stopping Criterion

Iterasi pencarian nilai fungsi maksimum akan terus berjalan hingga kriteria penghentian iterasi terpenuhi. Pengembangan *coding DE* untuk permasalahan penempatan menara BTS secara optimal ini menggunakan *stopping criterion* nilai fungsi terbaik saat itu lebih dari nilai total luas daerah cakupan BTS eksisting, jika nilai total luas daerah cakupan hasil optimasi memiliki nilai lebih baik atau sama dengan nilai luas daerah cakupan menara eksisiting maka iterasi akan berhenti. Selain menggunakan *stopping criterion* luas daerah cakupan menara BTS, juga dapat digunakan *stopping criterion* berupa nilai iterasi maksimum maupun lama waktu komputasi yang digunakan sehingga akan menghasilkan hasil optimasi sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 3. 6 Flowchart Metode *Differential Evolution*

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab keempat ini menunjukkan analisis dan pembahasan dari pengolahan data atau pengujian algoritma yang dilakukan pada bab sebelumnya

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data Persebaran Menara

Persebaran menara telekomunikasi di Kabupaten Mojokerto sampai akhir tahun 2014 tercatat ada 210 menara dengan jumlah total BTS sebanyak 367 BTS. Adapun data jumlah menara dan BTS eksisting di setiap kecamatan ditunjukkan oleh tabel 4.1.

Dari semua menara dan BTS yang ada, terdapat 9 operator telekomunikasi yang melayani komunikasi seluler di Kabupaten Mojokerto. Kesembilan operator tersebut adalah Telkomsel, Indosat, XL, NTS (Axis), HCPT (Three), Esia, Flexi, Smart Fren, dan Mobile 8 (STI). Data pengelompokan jumlah BTS untuk masing-masing operator ditunjukkan oleh tabel 4.2.

Seluruh data tersebut diperoleh dari Dinas Pendapatan Daerah Kabupaten Mojokerto dan data hasil survei. Berdasarkan data jumlah BTS dan menara telekomunikasi, dapat dilihat bahwa ada kolokasi BTS antar operator seluler di Kabupaten Mojokerto. Hal ini menunjukkan bahwa pada satu menara telekomunikasi bisa digunakan oleh lebih dari satu operator seluler atau yang sering disebut dengan penggunaan menara secara bersama (menara bersama). Dari data lokasi menara eksisting yang ada, maka dapat dilakukan visualisasi persebaran menara telekomunikasi di Kabupaten Mojokerto seperti yang terlihat pada Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3.

Persebaran menara eksisting yang ada di Kabupaten Mojokerto pada tahun 2014 menunjukkan bahwa di Kabupaten Mojokerto sebagian besar wilayahnya telah *discover* oleh menara 2G yang tersebar di 18 kecamatan. Untuk daerah cakupan dari jaringan 3G masih belum *mengcover* wilayah Kabupaten Mojokerto secara keseluruhan.

Tabel 4. 1 Jumlah Menara dan BTS Eksisting tahun 2014

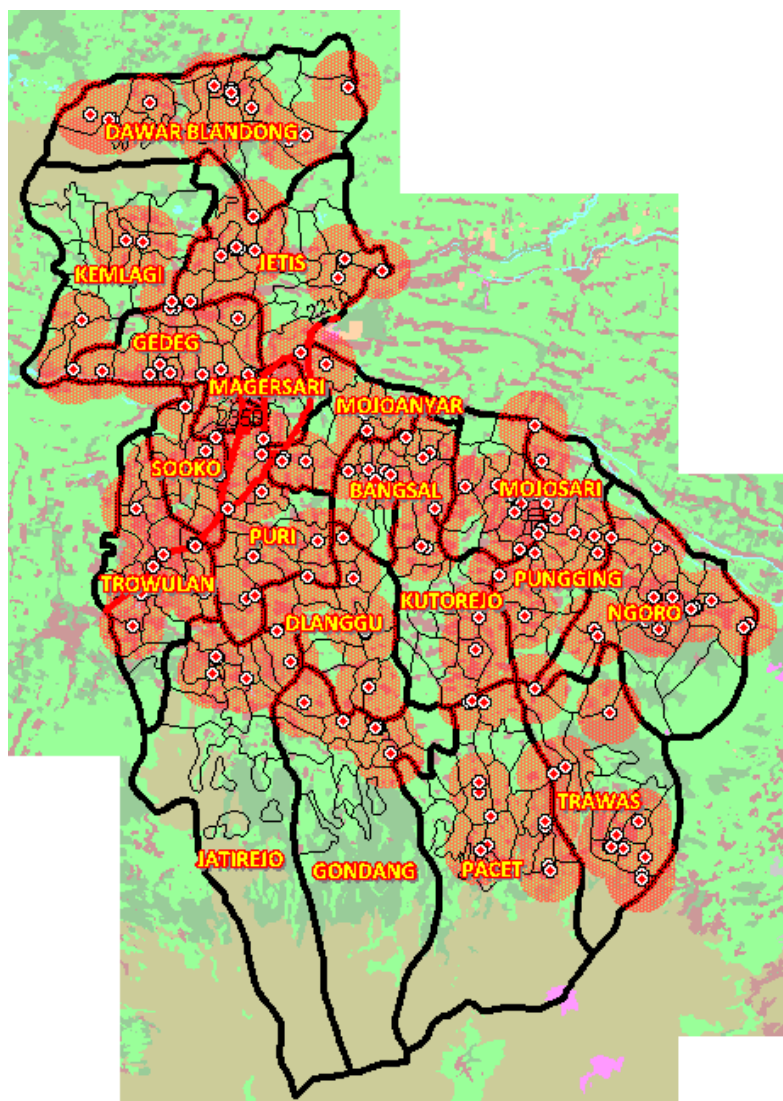
No.	Kecamatan	Jml BTS Eksisting	BTS 2G	BTS 3G	Jml Menara
1	Bangsals	25	18	7	14
2	Dawar Blandong	26	16	10	17
3	Dlanggu	11	6	5	8
4	Gedek	33	21	12	15
5	Gondang	10	6	4	6
6	Jatirejo	10	8	2	6
7	Jetis	18	14	4	11
8	Kemlagi	10	7	3	5
9	Kutorejo	14	4	10	7
10	Mojoanyar	19	11	8	9
11	Mojosari	23	14	9	14
12	Ngoro	25	15	10	16
13	Pacet	27	17	10	16
14	Pungging	16	13	3	12
15	Puri	22	13	9	11
16	Sooko	14	9	5	8
17	Trawas	33	18	15	17
18	Trowulan	31	9	22	18
Total		367	219	148	210

Tabel 4. 2 Jumlah BTS Setiap Operator Seluler

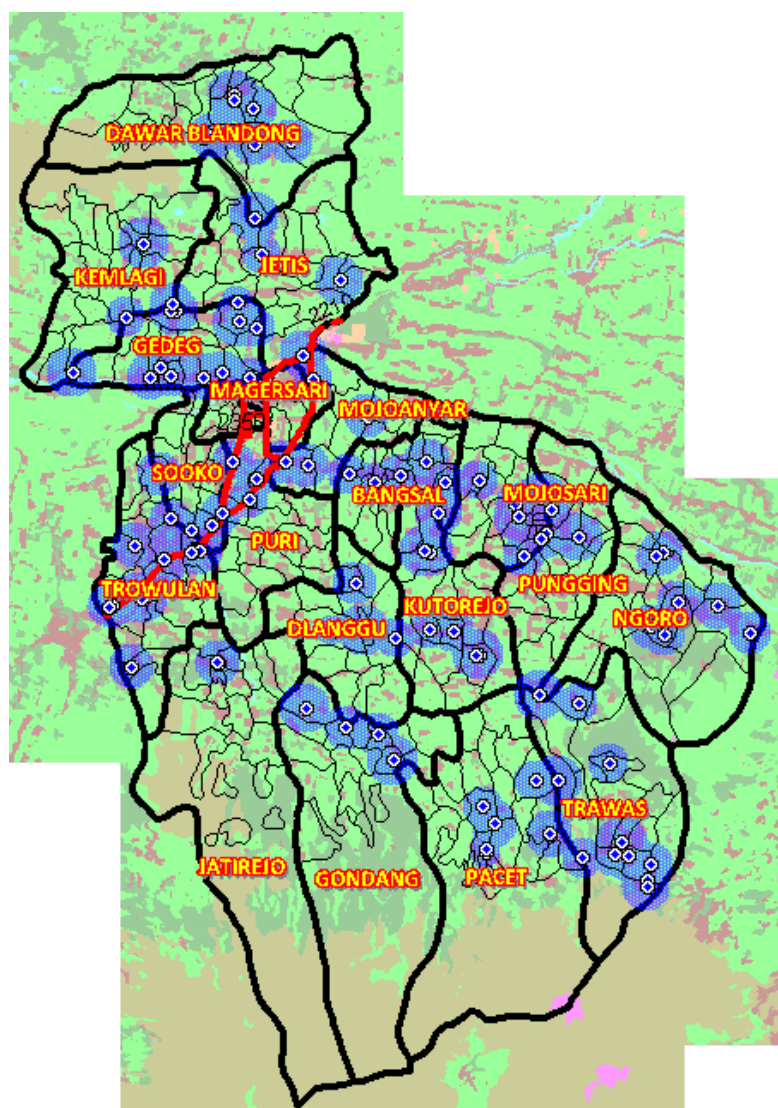
No.	Operator Telekomunikasi	Singkatan	Jumlah BTS 2G	Jumlah BTS 3G	Total BTS
1	PT. Telekomunikasi Seluler	TSEL	56	45	101
2	PT. XL Axiata	XL	33	27	60
3	PT. Hutchison C.P Telekomunikasi	HCPT	30	13	43
4	PT. Indonesia Satelit Cooperation	Indosat	53	26	79
5	PT. Natrindo Telepon Seluler	NTS (Axis)	16	13	29
6	PT. Smart Telecom	Smart	7	10	17
7	PT. Mobile 8 / Sampurna Telekomunikasi	Fren / STI	2	2	4
8	PT. Bakrie Telekom	Esia	11	5	16
9	PT. Telekomunikasi Indonesia	TELKOM Flexi	11	7	18

4.1.2 Persebaran Zona Menara Eksisting

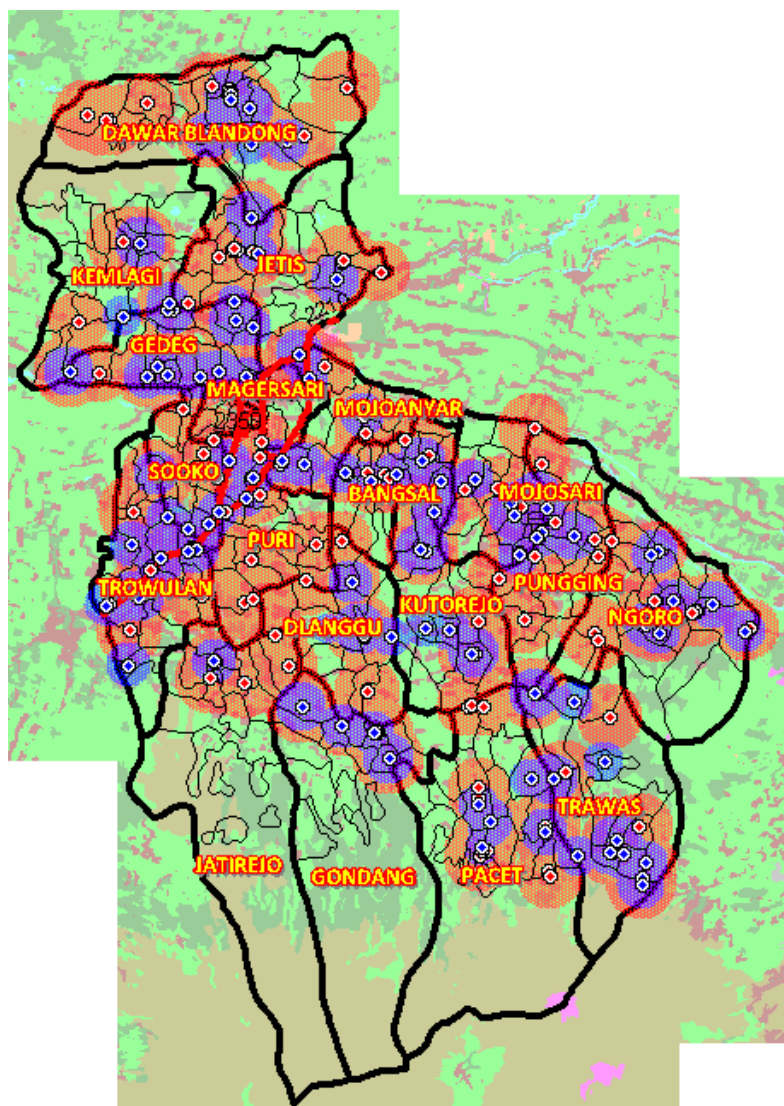
Zona menara eksisting merupakan daerah cakupan yang dihasilkan dari menara eksisting dengan radius tertentu berdasarkan ketinggian menara, morfologi area, teknologi yang digunakan, dan daya pancar antenna. Dari data persebaran menara eksisting, diketahui terdapat 214 BTS 2G dan 153 BTS 3G yang tersebar di 210 menara. Gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan persebaran zona menara eksisting untuk jaringan 2G dan 3G yang ada di Kabupaten Mojokerto. Dari hasil kedua gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa semua kecamatan di Kabupaten Mojokerto telah memiliki jaringan 2G dan 3G. Namun jumlah menara 3G secara keseluruhan masih terbilang sedikit.



Gambar 4. 1 Persebaran Zona Menara 2G Eksisting



Gambar 4. 2 Persebaran Zona Menara 3G Eksisting



Gambar 4.3 Persebaran Zona Menara 2G dan 3G Eksisting

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Prediksi Kebutuhan BTS 2019

Berdasarkan pada hasil perhitungan kebutuhan trafik pelanggan dan kapasitas trafik di bab sebelumnya, maka dapat dilakukan estimasi kebutuhan BTS untuk jangka lima tahun kedepan sampai tahun 2019 menggunakan persamaan (3.12). Sehingga didapatkan kebutuhan BTS tahun 2019 seperti ditunjukkan pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4. 3 Prediksi Kebutuhan BTS tahun 2019

No.	Jenis Teknologi	Jumlah BTS 2014	Kebutuhan BTS 2019	Penambahan BTS
1	2G	219	425	206
2	3G	148	142	-6

Dari tabel 4.3 diketahui bahwa ada peningkatan dan pengurangan jumlah kebutuhan BTS di tahun 2019, baik untuk jaringan 2G maupu 3G. Untuk peningkatan kebutuhan BTS 2G sebesar 206 BTS, dan untuk pengurangan kebutuhan BTS 3G sebesar 6 BTS. Sehingga untuk estimasi perencanaan pembangunan jaringan telekomunikasi tahun 2019 di Kabupaten Mojokerto setidaknya membutuhkan penambahan 206 BTS 2G dan pengurangan 6 BTS 3G.

4.2.2 Prediksi Kebutuhan Menara 2019

Dari hasil prediksi kebutuhan BTS untuk tahun 2019, maka dapat dihitung berapa kebutuhan menara telekomunikasi di tahun 2019 menggunakan rumus pada persamaan (3.5). Tabel 4.4 menunjukkan prediksi kebutuhan menara telekomunikasi tahun 2019 untuk layanan 2G dan 3G. Pada penelitian ini diambil prediksi kebutuhan menara untuk jaringan 2G dan 3G dikarenakan untuk memenuhi kebutuhan akses data pelanggan seluler yang terus meningkat pesat seiring perkembangan teknologi informasi, disamping hal itu regulasi baru yang akan di keluarkan Pemerintah Daerah Kabupaten Mojokerto melarang pendirian menara telekomunikasi dengan ketinggian menara diatas 50m.

Tabel 4. 4 Prediksi Kebutuhan Menara 2019

No.	Jenis Teknologi	Jumlah Menara 2014	Kebutuhan Menara 2019	Penambahan Menara
1	2G	164	106	-58
2	3G	102	36	-66

Berdasarkan pada tabel 4.4 yang menunjukkan perbandingan kebutuhan menara 2G dan 3G tahun 2014 dengan tahun 2019, maka di Kabupaten Mojokerto untuk tahun 2019 mengalami pengurangan menara 2G sebanyak 58 menara dan pengurangan menara 3G sebanyak 66 menara. Dengan adanya pengurangan menara, maka proses peletakan menara yang optimal menjadi sangat penting agar menara yang ada dapat difungsikan secara optimal dan tidak mengganggu estetika ruang maupun kegiatan warga di Kabupaten Mojokerto.

4.3 Penempatan Menara Kebutuhan 2019

Proses penempatan menara telekomunikasi menjadi tahapan yang sangat penting dalam sebuah perancangan jaringan telekomunikasi. Pada dasarnya penempatan sebuah menara telekomunikasi hanya di dasarkan pada kualitas jaringan yang sudah ada tanpa memperhatikan estetika ruang maupun kegiatan warga sekitar. Dengan penempatan menara yang tanpa perencanaan matang, maka hasil cakupan sel dari sebuah menara tidak akan optimal sehingga menimbulkan *blank spot area* yang cukup besar. Jumlah menara yang banyak tidak menjamin dapat *cover* wilayah yang besar jika penataan menaranya tidak optimal. Pada penelitian ini dilakukan sebuah optimasi peletakan menara telekomunikasi dengan menggunakan Algoritma *Differential Evolution*. Proses optimasi dilakukan untuk masing-masing kecamatan dengan memperhatikan keberadaan menara eksisting yang sudah ada dan kebutuhan trafik per kecamatan.

Berdasarkan pada tabel 4.4 maka dapat diketahui bahwa ada pengurangan jumlah menara untuk kebutuhan jaringan tahun 2019. Pada proses optimasi peletakan menara kebutuhan tahun 2019 menggunakan sejumlah titik alternatif RTRW yang ada di setiap kecamatan dan menggunakan sejumlah titik eksisting yang ada. Titik-titik tersebut nantinya akan diseleksi dan dipilih titik mana yang paling optimal untuk peletakan menara. Pemilihan titik ini didasarkan pada luasan daerah

yang mampu dihasilkan oleh titik-titik alternatif tersebut. Tabel 4.5 menunjukkan jumlah titik alternatif yang ada di setiap kecamatan di Kabupaten Mojokerto yang akan digunakan dalam proses optimasi.

Tabel 4. 5 Jumlah Titik Alternatif Setiap Kecamatan

No.	Kecamatan	Jumlah Titik Alternatif
1	Jatirejo	15
2	Gondang	18
3	Pacet	20
4	Tawas	13
5	Ngoro	19
6	Pungging	19
7	Kutorejo	17
8	Mojosari	19
9	Bangsar	17
10	Mojoanyar	12
11	Dlanggu	16
12	Puri	16
13	Trowulan	16
14	Sooko	15
15	Gedek	14
16	Kemlagi	20
17	Jetis	16
18	Dawarblandong	18

4.3.1 Pengujian Algoritma

Pengujian algoritma *differential evolution* ditujukan untuk mengetahui performansi algoritma dengan menggunakan parameter pengujian tertentu. Pada pengujian ini digunakan dua skema pengujian, yaitu pengujian pertama menggunakan parameter CR sebesar 0,9 dan F sebesar 0,9. Pada pengujian ini diambil sampel satu kecamatan yaitu kecamatan Bangsal dengan ekspektasi nilai luas *coverage cell* sebesar

33,39 km², dilakukan replikasi sebanyak 10 kali. Kemudian, pengujian kedua menggunakan parameter CR sebesar 0,2 dan F sebesar 0,9. Hasil kedua pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4. 6 *Output* 10 Replikasi dengan CR = 0,9 dan F = 0,9

Replikasi	Iterasi	Coveragearea awal (km ²)	Coveragearea optimasi (km ²)	Waktu komputasi (detik)
1	61	33,39	34,92	0,6864044
2	14	33,39	35,30	0,2964019
3	360	33,39	35,22	3,3540215
4	94	33,39	34,99	0,9984064
5	404	33,39	35,27	3,8844249
6	15	33,39	35,21	0,3276021
7	17	33,39	35,24	0,3276021
8	124	33,39	35,11	1,2324079
9	167	33,39	35,05	1,6536106
10	14006	33,39	34,94	101,603451

Tabel 4. 7 *Output* 10 Replikasi dengan CR = 0,2 dan F = 0,9

Replikasi	Iterasi	Coveragearea awal (km ²)	Coveragearea optimasi (km ²)	Waktu komputasi (detik)
1	9	33,39	34,93	0,2808018
2	3	33,39	35,02	0,2340015
3	8	33,39	35,21	0,2652017
4	3	33,39	35,22	0,2496016
5	8	33,39	35,34	0,2808018
6	7	33,39	35,23	0,2808018
7	5	33,39	35,33	0,2808018
8	8	33,39	35,18	0,2652017
9	5	33,39	34,97	0,2652017
10	8	33,39	35,31	0,2652017

Tabel 4.8 berikut ini akan menunjukkan perbandingan hasil pengujian kedua skema parameter algoritma *differential evolution* yaitu

antara pengujian pertama ($CR = 0,9$) dengan pengujian kedua ($CR = 0,2$).

Tabel 4. 8 Rekap Pengujian Parameter Algoritma DE

	F = 0,9	
	CR = 0,2	CR = 0,9
Cakupan area terbaik	35,34292813	35,29532928
Rata-rata cakupan area	35,17	35,12
Waktu komputasi terbaik	0,2340015	0,2964019
Rata-rata waktu komputasi	0,26676171	11,43643331

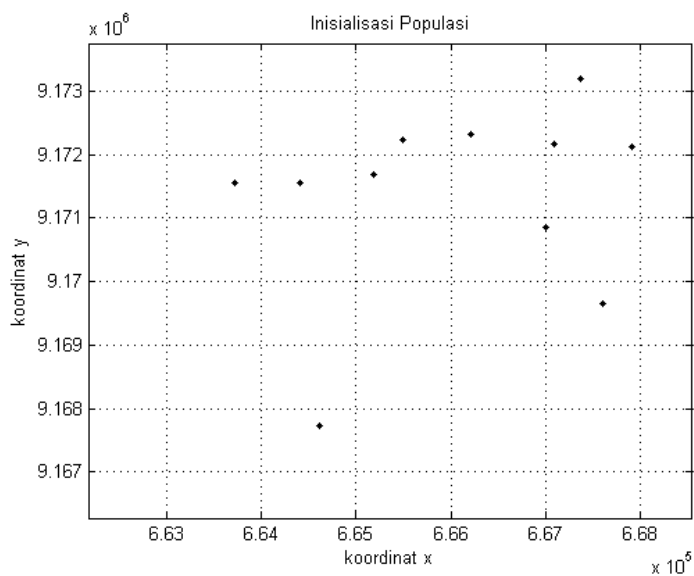
Dari Tabel 4.8 terlihat bahwa ada perbedaan performansi algoritma *differential evolution* dalam mencapai solusi optimum. Dari hasil pengujian terlihat bahwa pada pengujian kedua ($F = 0,9$ dan $CR = 0,2$) performansi algoritma *differential evolution* dalam memecahkan masalah sehingga mendapatkan solusi optimum lebih bagus di bandingkan dengan pengujian yang pertama ($F = 0,9$ dan $CR = 0,9$). Dengan waktu komputasi yang relatif singkat, pengujian kedua mampu mencapai nilai optimum terbaik dengan rata-rata waktu komputasi 0,26676171 detik dan rata-rata cakupan area sebesar 35,17 km². Dengan hasil pengujian ini, maka parameter pada pengujian kedua akan digunakan dalam proses optimasi untuk kecamatan yang lainnya.

4.3.2 Hasil Optimasi Algoritma

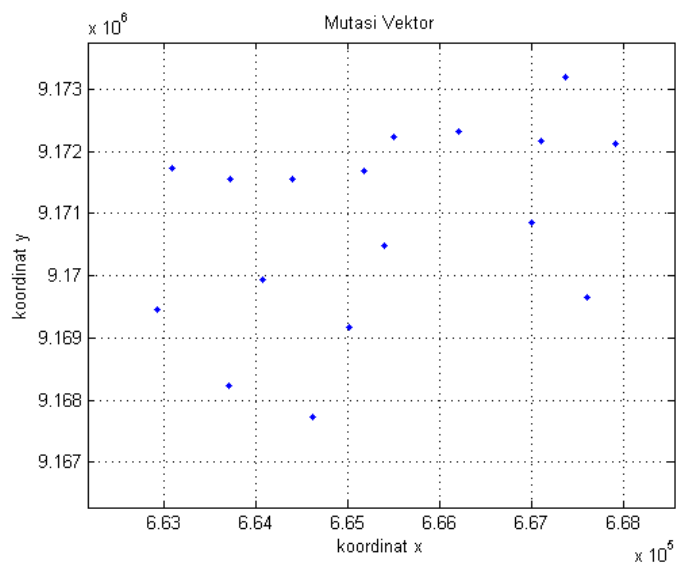
Hasil optimasi algoritma *differential evolution* pada penelitian ini akan menghasilkan titik-titik koordinat optimum peletakan menara BTS di Kabupaten Mojokerto dengan nilai radius sel dan luas *coverage area* optimal yang mampu dihasilkan.

Untuk hasil optimasi di setiap kecamatan diambil contoh pada kecamatan Bangsal yang memiliki 11 titik menara eksisting dengan luas *coverage area* sebesar 33,39 km² yang memiliki kebutuhan di tahun 2019 sebanyak 2 menara.

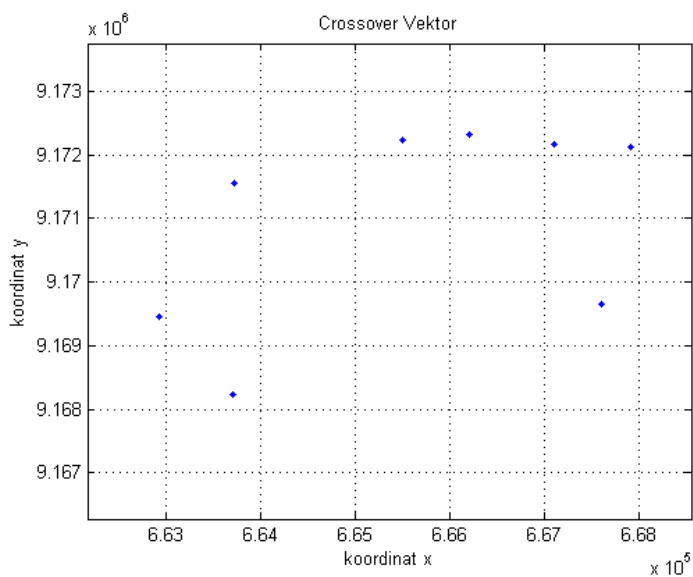
Dengan menggunakan parameter $F = 0,9$ dan $CR = 0,2$ dilakukan proses optimasi dengan 4 tahapan (inisialisasi, mutasi, *crossover*, dan seleksi) seperti terlihat pada Gambar 4.4, 4.5, 4.6, dan 4.7, sehingga didapatkan hasil solusi optimal di kecamatan Bangsal.



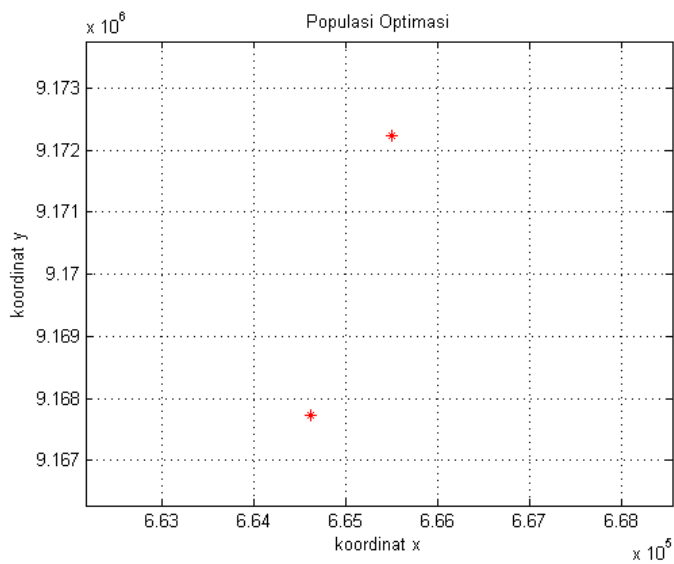
Gambar 4. 4 Tahap Inisialisasi Populasi



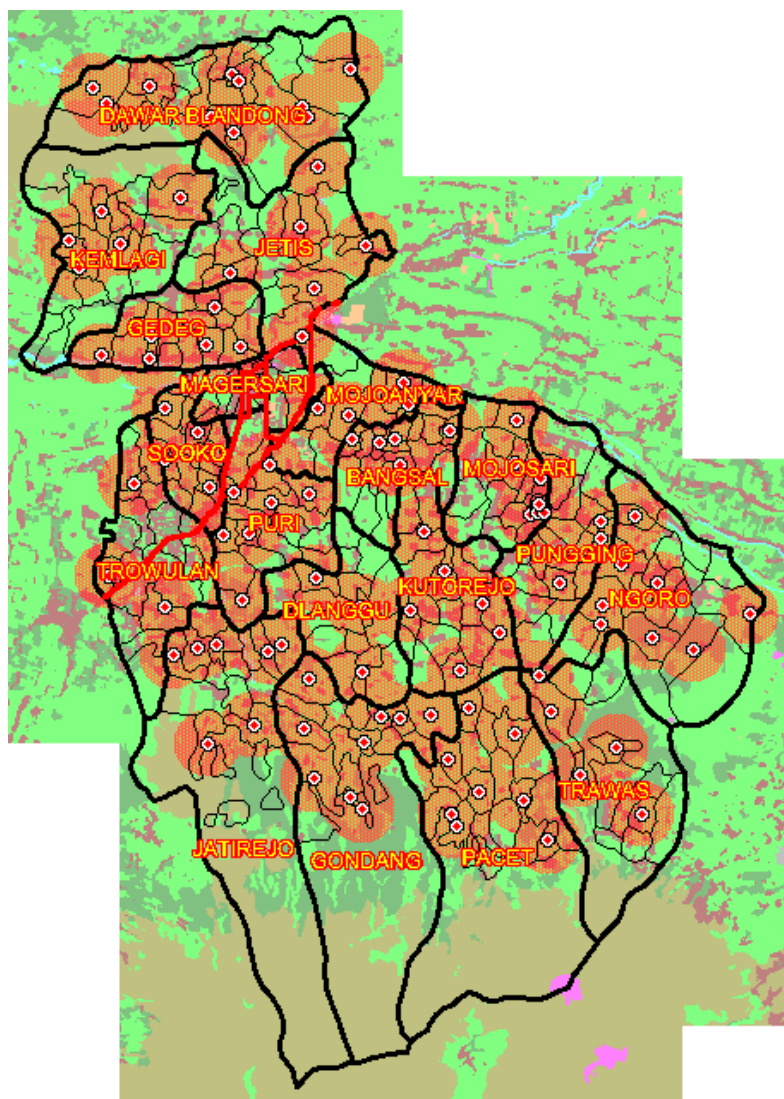
Gambar 4. 5 Tahap Mutasi Vektor



Gambar 4. 6 Tahap *Crossover* Vektor



Gambar 4. 7 Tahap *Seleksi* Vektor

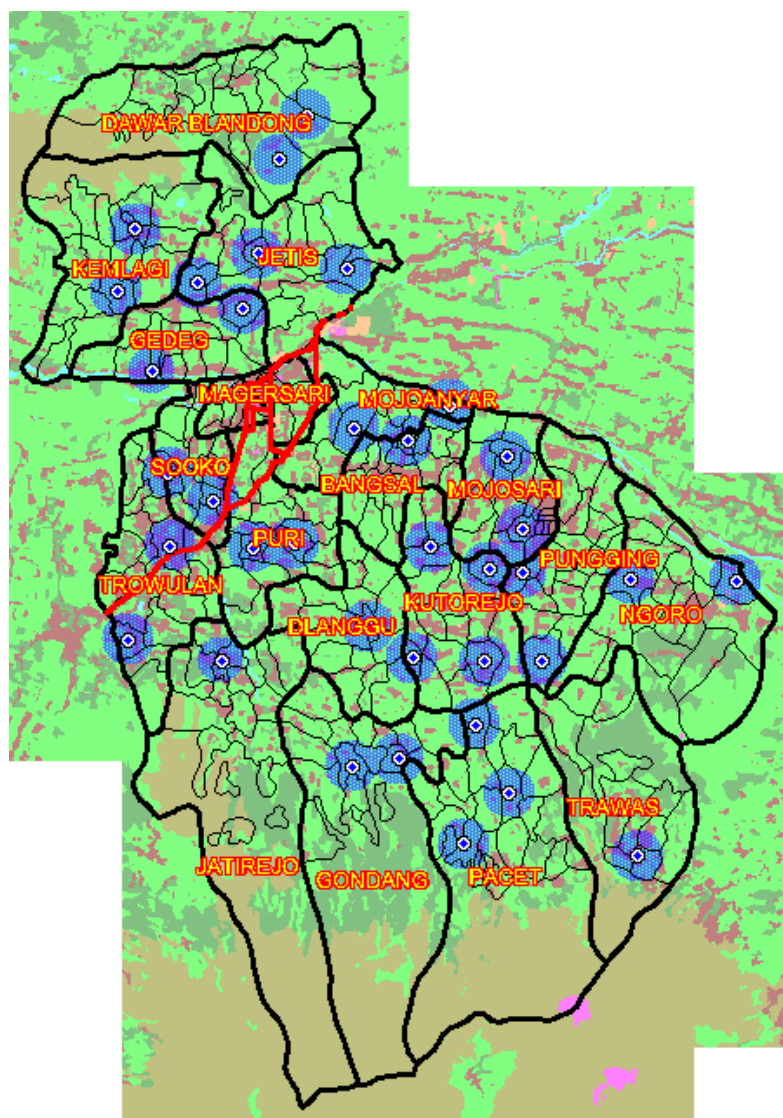


Gambar 4. 8 Zona 2G Kebutuhan tahun 2019

Dengan menggunakan langkah yang sama, dilakukan proses optimasi untuk penataan menara jaringan 2G di Kabupaten Mojokerto secara keseluruhan dengan ekspektasi luas cakupan sel yang lebih bagus atau sama dengan luas cakupan sel dari menara 2G eksisting di tahun 2014, kemudian didapatkan hasil titik solusi optimal penempatan menara telekomunikasi tahun 2019 di Kabupaten Mojokerto seperti terlihat pada lampiran dan Gambar 4.8.

Hasil optimasi untuk jaringan 2G seperti pada Gambar 4.8 menunjukkan adanya perubahan jumlah menara BTS yang tersebar di seluruh Kabupaten Mojokerto dengan jumlah menara BTS bersama sebanyak 106 menara. Jumlah ini lebih sedikit dibanding dengan jumlah menara eksisting yang ada saat ini yang mencapai 164 menara. Pengurangan jumlah menara didasarkan pada kebutuhan trafik pelanggan seluler 2G yang ada di Kabupaten Mojokerto untuk prediksi kebutuhan tahun 2019 sebesar 18984 Erlang, sehingga hanya dibutuhkan sejumlah 106 menara BTS bersama untuk dapat melayani trafik pelanggan seluler yang ada di Kabupaten Mojokerto tahun 2019. Dengan adanya pengurangan jumlah menara BTS, maka dibutuhkan proses optimasi peletakan menara BTS bersama agar menara hasil optimasi tetap dapat mencakup luas cakupan yang optimal sehingga dapat mengatasi mobilitas pengguna seluler di Kabupaten Mojokerto.

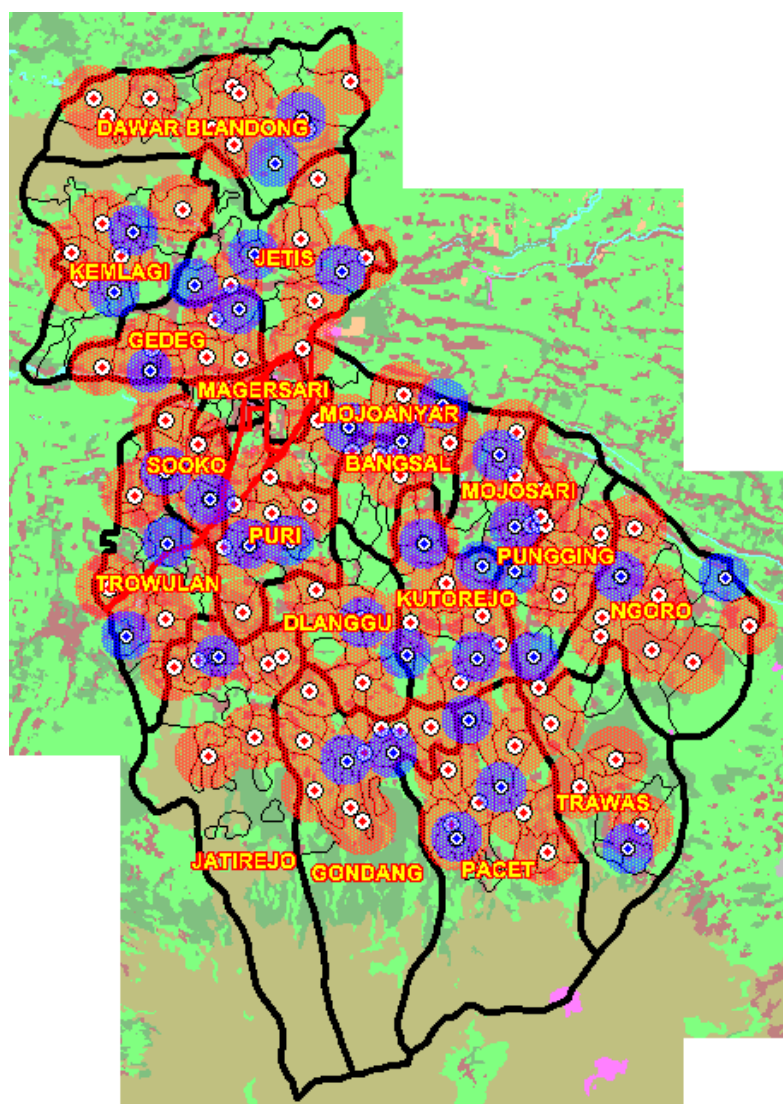
Setelah dilakukan proses optimasi peletakan menara menggunakan algoritma *differential evolution*, maka didapatkan penempatan menara BTS bersama seperti pada Gambar 4.8. Hasil optimasi peletakan menara BTS bersama menggunakan algoritma *differential evolution* mampu meningkatkan luas cakupan area sel menjadi 644,8 km² dari cakupan area sel semula yang hanya 641,2 km². Peningkatan luas cakupan area sel disebabkan oleh proses optimasi yang melakukan penyusunan ulang menara BTS bersama untuk mendapatkan luas cakupan area sel yang semakin optimal dengan cara mengurangi luas daerah irisan sel yang terlalu besar, sehingga luas cakupan sel akan semakin meningkat. Disamping itu, pendirian dan peletakan menara BTS bersama yang optimal dapat mendukung program Pemerintah Daerah Kabupaten Mojokerto untuk memperbaiki zonasi menara yang ada di Kabupaten Mojokerto agar tidak mengganggu estetika lingkungan dan tata ruang di Kabupaten Mojokerto.



Gambar 4. 9 Zona 3G Kebutuhan tahun 2019

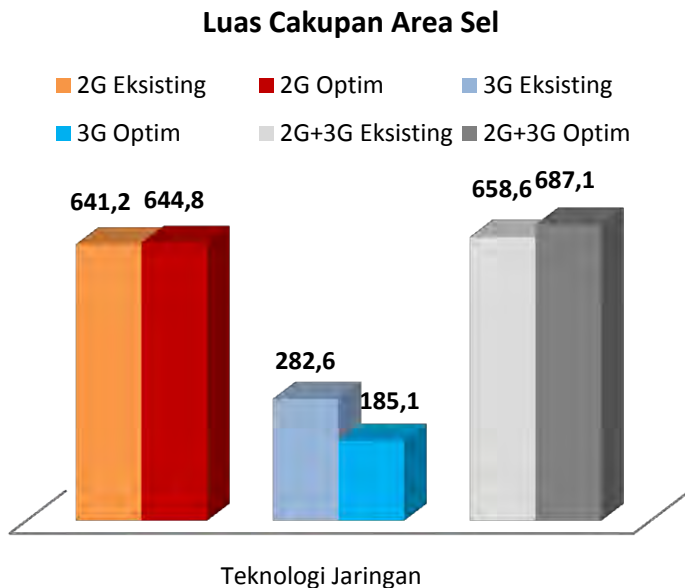
Hasil optimasi untuk jaringan 3G seperti pada Gambar 4.9 menunjukkan adanya perubahan jumlah menara BTS yang tersebar di seluruh Kabupaten Mojokerto dengan jumlah menara BTS bersama sebanyak 36 menara. Jumlah ini lebih sedikit dibanding dengan jumlah menara eksisting yang ada saat ini yang mencapai 102 menara. Pengurangan jumlah menara didasarkan pada kebutuhan trafik pelanggan seluler 3G yang ada di Kabupaten Mojokerto untuk prediksi kebutuhan tahun 2019 sebesar 367170 Kbps, sehingga hanya dibutuhkan sejumlah 35 menara BTS bersama untuk dapat melayani trafik pelanggan seluler yang ada di Kabupaten Mojokerto tahun 2019. Dengan adanya pengurangan jumlah menara BTS, maka dibutuhkan proses optimasi peletakan menara BTS bersama agar menara hasil optimasi tetap dapat mencakup luas cakupan yang optimal sehingga dapat mengatasi mobilitas pengguna seluler di Kabupaten Mojokerto.

Setelah dilakukan proses optimasi peletakan menara menggunakan algoritma *differential evolution*, maka didapatkan penempatan menara BTS bersama seperti pada Gambar 4.9. Hasil optimasi peletakan menara BTS bersama menggunakan algoritma *differential evolution* ternyata mengurangi luas cakupan area sel menjadi 185,1 km² dari cakupan area sel semula yang hanya 282,6 km². Penurunan luas cakupan area sel ini diakibatkan oleh adanya pengurangan jumlah menara BTS 3G yang terlalu signifikan, sehingga mengurangi luas cakupan yang dihasilkan dari menara BTS 3G yang ada. Pengurangan jumlah menara BTS 3G juga disebabkan adanya penggabungan beberapa menara BTS 3G tunggal menjadi menara BTS 3G bersama sesuai anjuran dari Kementerian KOMINFO tentang pembangunan menara bersama agar dapat mengurangi jumlah menara yang berlebih. Penentuan jumlah menara BTS 3G hasil optimasi didasarkan pada tingkat penetrasi pengguna seluler jaringan 3G di Kabupaten Mojokerto yang hanya mencapai 17,4 % dari total pengguna seluler yang ada di Kabupaten Mojokerto prediksi tahun 2019 dan aturan pembangunan menara BTS 3G bersama dengan asumsi satu menara mampu digunakan oleh 4 BTS secara bersama.



Gambar 4. 10 Zona Gabungan 2G dan 3G Kebutuhan tahun 2019

Gambar 4.10 merupakan zonasi gabungan dari menara 2G dan 3G hasil optimasi di Kabupaten Mojokerto untuk prediksi kebutuhan tahun 2019. Dari hasil optimasi penggunaan jumlah menara dan peletakan posisi menara baik 2G maupun 3G, maka terdapat 106 menara BTS 2G bersama dan 36 menara BTS 3G bersama yang tersebar di seluruh kecamatan yang ada di Kabupaten Mojokerto. Dengan adanya optimasi peletakan menara BTS bersama, maka didapatkan persebaran menara yang tersebar merata di seluruh kecamatan baik untuk menara 2G maupun 3G. Hasil optimasi peletakan menara BTS bersama menggunakan algoritma *differential evolution* didapatkan total luas cakupan area sel untuk jaringan 2G dan 3G yang ada di Kabupaten Mojokerto meningkat menjadi 687,1 km² dari luas cakupan area sel semula yang hanya 658,6 km². Selain meningkatkan total luas cakupan area sel, proses optimasi juga dapat menekan jumlah menara yang ada di Kabupaten Mojokerto menjadi 138 menara dari jumlah total menara semula 266 menara.



Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Luas Cakupan

Berdasar grafik perbandingan luas cakupan area sel pada Gambar 4.11, dapat diketahui bahwa ada perbedaan antara luas cakupan area sel dari menara eksisting dengan luas cakupan area sel hasil optimasi menggunakan algoritma *differential evolution*. Pada proses optimasi jaringan 2G didapatkan peningkatan luas cakupan area sel sekitar $3,6 \text{ km}^2$ dari luas cakupan awal sebesar $641,2 \text{ km}^2$ kemudian meningkat menjadi $644,8 \text{ km}^2$. Untuk proses optimasi jaringan 3G didapatkan penurunan luas cakupan area sel sekitar $97,5 \text{ km}^2$ dari luas cakupan awal sebesar $282,6 \text{ km}^2$ kemudian menurun menjadi $185,1 \text{ km}^2$. Namun secara keseluruhan gabungan dari menara jaringan 2G dan 3G yang ada di Kabupaten Mojokerto mengalami peningkatan total luas cakupan area sel sekitar $28,5 \text{ km}^2$ dari total luas cakupan awal sebesar $658,6 \text{ km}^2$ kemudian meningkat menjadi $687,1 \text{ km}^2$. Maka secara keseluruhan proses optimasi menggunakan algoritma *differential evolution* untuk peletakan menara BTS bersama di Kabupaten Mojokerto pada tahun 2019 dapat mengoptimalkan total luas cakupan area sel 2G dan 3G sebesar 70,88 % dengan peningkatan total luas cakupan sebesar 2,94 % dari total luas cakupan awal.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari perencanaan kebutuhan menara BTS dan optimasi penempatan menara telekomunikasi bersama di Kabupaten Mojokerto untuk tahun 2019, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Jumlah BTS GSM dan CDMA eksisting di Kabupaten Mojokerto pada tahun 2014 sebanyak 367 BTS dan 210 menara dengan klasifikasi jumlah BTS 2G sebanyak 219 menara dan BTS 3G sebanyak 148 menara.
2. Dari hasil perencanaan kebutuhan trafik dan menara BTS, untuk dapat melayani trafik pelanggan seluler di seluruh Kabupaten Mojokerto pada tahun 2019 dibutuhkan menara BTS 2G sebanyak 106 menara dan menara BTS 3G sebanyak 36 menara.
3. Algoritma *Differential Evolution* dengan parameter $F = 0,9$ dan $CR = 0,2$ memiliki kemampuan yang baik dalam menemukan solusi luas cakupan area terbaik dengan rata-rata waktu komputasi sebesar 0,26676171 detik.
4. Dari hasil optimasi, penempatan menara BTS bersama menggunakan algoritma *differential evolution* mampu mengoptimalkan luas cakupan area sel sebesar 2,94 % dari total luas Kabupaten Mojokerto.

5.2 Saran

Berikut ini adalah saran yang dapat penulis berikan terkait penelitian selanjutnya :

1. Menambahkan kriteria penempatan menara BTS yang lain, seperti mobilitas pengguna seluler sehingga dapat menghasilkan hasil penempatan menara BTS yang lebih optimal dan dapat mengcover seluruh pengguna seluler di dunia nyata.

2. Mengembangkan penelitian sehingga dapat menghasilkan solusi yang lebih baik, misal dengan menggabungkan algoritma DE dengan algoritma yang lain.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk perancangan kebutuhan jaringan 4G (LTE) ke depan dalam rangka mengikuti perkembangan teknologi telekomunikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Feronika, Rudy, “konsep-dasar-telekomunikasi-seluler”<URL:<http://rudyferonika.blogspot.com/2013/03/konsep-dasar-telekomunikasi-seluler.html>>, diakses pada tanggal 20 Oktober 2014.
- [2] Sasongko, Erfin, “Perencanaan dan Penataan Menara Telekomunikasi Seluler Bersama di Kabupaten Sidoarjo Menggunakan Mapinfo”, Jurnal Teknik Pomits, Vol. 1, No. 1, (2014) 1-6, Surabaya, 2014.
- [3] Jiworeno, “Penentuan Zona Menara Baru Pada Komunikasi Seluler Dengan Menggunakan *Geographic Information System (GIS)* di Kabupaten Mojokerto”, Jurnal Teknik Pomits, Vol. 1, No. 1, (2014) 1-6, Surabaya, 2014.
- [4] [URL:http://www.ariestarlight.blogspot.com/2013/02/gsm-global-system-for-mobile.html](http://www.ariestarlight.blogspot.com/2013/02/gsm-global-system-for-mobile.html), diakses pada tanggal24 Oktober 2014.
- [5] Rizki, Aditya, “Mengenal Jaringan GSM *Global System for MobileCommunication*”,<URL:<http://www.adityarizki.net/2012/03/mengenal-jaringan-gsm-global-system-for-mobile-communication/>>,diakses pada tanggal20 Oktober 2014.
- [6] Akbar, R., “Konsep Dasar Sistem WCDMA”, Jurnal Teknik Universitas Sumatera Utara, Vol.3, pp. 2-4, 2011.
- [7] Budianto, B., “Analisis Pengaruh Interferensi Terhadap Kapasitas Sel pada Sistem WCDMA”, Jurnal Teknik Universitas Indonesia Vol.7, pp.19-20, Juli, 2009.
- [8] Samsul, “konsep dasar telekomunikasi seluler”, <URL:<http://samsul-nar.blogspot.com/2009/04/konsep-dasar-telekomunikasi-seluler.html/>>, diakses pada tanggal18 Oktober 2014.
- [9] Saputra, K. A., “*Frequency Reuse*”, <URL:<http://www.sapukamil.blogspot.com/2013/01/frekuensi-reuse.htm>>diakses pada tanggal 20 Oktober 2014.
- [10] Saunders, S.R., Zavala, A.A., “*Antennas and Propagation for Wireless Communication System, Second Edition*”, John Wiley & Sons, Ltd, England., 2007.
- [11] Dirjen Kementerian Pekerjaan Umum, “Surat Edaran Direktur Jendral Penataan Ruang Kementerian Pekerjaan Umum Tentang

- Petunjuk Teknis Kriteria Lokasi Menara Telekomunikasi”, Jakarta 2011.
- [12] Jaringan Rekayasa Trafik, “dasar trafik pertemuan kedua”, Suwadi, 2012.
 - [13] Endah, Rizky, “perbedaan rural dan urban”, <URL:<http://rizkyendah.wordpress.com/2013/04/17/perbedaan-rural-dan-urban/>>, diakses pada tanggal 14 Nopember 2014.
 - [14] Feoktistov, V. (2006). Differential Evolution: In Search of Solutions. Springer Optimization and Its Application, Vol.5. Springer, New York.
 - [15] Fleetwood, K. *An Introduction to Differential Evolution*. <URL:<http://www.maths.uq.edu.au/MASCOS/Multi-Agent04/Fleetwood.pdf>> diakses pada tanggal 11 September 2014.
 - [16] Santosa, B., Willy, P., “Metoda Metaheuristik Konsep dan Implementasi”, Penerbit Guna Widya, Surabaya, April 2011.
 - [17] Price, K.V, Storn, R.M., and Lampinen, J.A. (2005). Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization. Natural Computing Series. Springer-Verlag, Berlin.
 - [18] Storn, R., dan Price, K. (1997). *Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces*. Journal of Global Optimization, Vol.11, pp.341-359. Kluwer Academic Publishers.
 - [19] Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional, “RTRW Kabupaten Mojokerto tahun 2012-2032”, Desember 2012.
 - [20] Bakorsurtanal, “Peta Kabupaten Mojokerto”, Maret 2014.
 - [21] BPS Mojokerto, “Kabupaten Mojokerto Dalam Angka”, ISSN : 0215.4358, No. Publikasi / *Publication Number* : 35165.0113 Juni 2013.
 - [22] ETSI, “GSM 05.05”, 2005
 - [23] ETSI, “EN 301 908-4”, 2004
 - [24] Menkominfo dan Dirjen Postel, “Alokasi Frekuensi GSM DAN CDMA”, Januari 2010.
 - [25] Kementerian Komunikasi dan Informatika, “Indikator TIK Indonesia”, Januari 2011.
 - [26] Wolfram, MathWorld, “Circle Circle Intersection”, <URL:<http://mathworld.wolfram.com/Circle-CircleIntersection.html>>diakses pada tanggal 13 Oktober 2014.

- [27] Fachrie, M., *“Implementasi Fuzzy Evolutionary Algorithms Untuk Penentuan Posisi Base Transceiver Station (BTS)”*, Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi, ISSN:1907-5022, Yogyakarta, 2012.
- [28] Fahmiari Irmaduta, dan Santoso Budi. *“Aplikasi Algoritma Differential Evolution Untuk Permasalahan Kompleks Pemilihan Portofolio”*. Jurnal , Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Industri, ITS, Surabaya.

LAMPIRAN

Usulan Tugas Akhir

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri - ITS

TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Ahadi Arif Nugraha
Nomor Pokok : 2212106090
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Gasal 2014/2015
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Achmad Mauludyanto, MT.
Judul Tugas Akhir : **Optimasi Peletakan Base Transceiver Station di Kabupaten Mojokerto Menggunakan Algoritma Differential Evolution**
(*Base Transceiver Station locating Optimization in Kabupaten Mojokerto Using Differential Evolution Algorithm*)

26 SEP 2014

Uraian Tugas Akhir :

Salah satu aspek penting dalam perencanaan infrastruktur sistem komunikasi seluler adalah penentuan lokasi *Base Transceiver Station* (BTS). Performa komunikasi seluler dapat dinilai dari cakupan area (*Coverage Area*) dan tingkat layanan trafik yang dapat dilayani. Untuk dapat mencapai performa yang bagus, maka perlu dilakukan optimasi lokasi BTS yang tepat sehingga dapat memaksimalkan cakupan area dan trafik pelanggan seluler.

Differential Evolution (DE) merupakan salah satu algoritma evolusioner yang memiliki performansi lebih baik daripada algoritma evolusioner yang lain seperti *genetic algorithm* (GA). DE menyempurnakan kekurangan dari algoritma evolusioner lainnya dengan strategi optimasi sederhana untuk proses optimasi yang cepat, yaitu waktu perhitungan cepat dengan iterasi yang sedikit untuk menemukan optimal global solution. Metode ini merupakan evolusi dari *genetic algorithm* (GA) dengan mengganti operator logika dengan operator matematis.

Dalam penelitian ini diharapkan dapat menerapkan algoritma *Differential Evolution* untuk menemukan solusi optimum peletakan BTS di Kabupaten Mojokerto dan membandingkan dengan metode manual biasa.

Dosen Pembimbing,

Dr. Ir. Achmad Mauludyanto, MT.
Nip : 196109031989031001

Mengetahui,
Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS
Ketua,



Dr. Tri Arif Sardjono, ST., MT.
Nip : 197002121995121001

Menyetujui,
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Koordinator,



Dr. Ir. Endroyono, DEA
Nip : 196504041991021001

LAMPIRAN

Lembar Monitoring Tugas Akhir



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Kampus ITS Gedung B & C Sukolilo Surabaya - 60111
Telp. (031) 594 7302, 5994251 s/d 54 Pes. 1206
Fax. (031) 5931237
e-mail : elits@ee.its.ac.id
Website: <http://www.ee.its.ac.id>

MONITORING KEGIATAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : *Ahadi Arif Nugara* Nrp *2212106090*
Judul Tugas Akhir : *Optimasi Pelebaran Base Transceiver Station di Kabupaten Magetto
Menggunakan Algoritma Differential Evolution.*
Bulan Proposal Disahkan : *23 September 2014*
Dosen Pembimbing 1 : *Dr. Ir. Achmad Mauludjianto, M.T.* NIP *196109031989031001*
Dosen Pembimbing 2 : NIP

No	Tanggal	Uraian Kegiatan	Tanda Tangan			Keterangan
			Pembimbing (1)	Pembimbing (2)	Mahasiswa	
1	7/10 2014	Pembelian fungsi tujuan	<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>	
2	9/10 2014	Memasukkan fungsi tujuan ke dalam rumus matematis	<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>	
3	16/10 2014	Menghitung jarak antar titik koordinat BTS	<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>	
4	23/10 2014	Menghitung luas lahan antar BTS	<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>	
5	6/11 2014	Uji coba performansi algoritma differential evolution	<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>	
6	13/11 2014	Revisi program DE	<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>	
7	20/11 2014	Uji coba hasil revisi program	<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>	
8	27/11 2014	Revisi program DE	<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>	
9	04/12 2014	Optimasi kecamatan tahap 1	<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>	
10	11/12 2014	Optimasi kecamatan tahap 2	<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>	
11	18/12 2014	Optimasi kecamatan tahap 3	<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>	
12	20/12 2014	Optimasi kecamatan tahap 4.	<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>	
13	23/12 2014	Revisi buku TA bab 1, 2, 3	<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>	
14	24/12 2014	Revisi buku TA bab 4	<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>	
15	29/12 2014	Menyimpulkan hasil akhir buku TA	<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>	
16	30/12 2014	Pengantunan Sibang TA	<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>	

LAMPIRAN

Surat Rekomendasi Penelitian



PEMERINTAH KABUPATEN MOJOKERTO
BADAN KESATUAN BANGSA DAN POLITIK

Jalan Jenderal A. Yani Nomor 16 Mojokerto Kode Pos 61318 Jawa Timur
Telp./Fax. (0321) 321953
Website : <http://kesbangpol.mojokertokab.go.id>

REKOMENDASI PENELITIAN/SURVEY/KEGIATAN

Nomor : 070/ KSI /416-206/2014

- Dasar :**
1. Undang-undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2002 tentang Sistem Nasional Penelitian, Pengembangan, dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi;
 2. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2004 tentang Pemerintahan Daerah, sebagaimana telah diubah beberapa kali, terakhir dengan Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2008;
 3. Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2011 tentang Pedoman Penelitian dan Pengembangan di Lingkungan Kementerian Dalam Negeri dan Pemerintahan Daerah;
 4. Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 64 Tahun 2011 tentang Pedoman Penerbitan Rekomendasi Penelitian;
 5. Peraturan Bupati Mojokerto Nomor 66 Tahun 2012 Tentang Penjabaran Tugas Pokok dan Fungsi Organisasi dan Tata Kerja Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kabupaten Mojokerto.
- Menimbang :**
- a. bahwa untuk tertib administrasi dan pengendalian pelaksanaan Penelitian/ Survey/ Research/KKL/KKN dan pengembangan perlu diterbitkan rekomendasi Penelitian/ Survey/Research/KKL/KKN;
 - b. bahwa sesuai surat dari Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Provinsi Jawa Timur, nomor : 070/10706/203.3/2014, tanggal 24 November 2014 perihal Rekomendasi Penelitian/Survey/Kegiatan;
 - c. bahwa sesuai disposisi Asisten Bidang Pemerintahan dan Kesejahteraan Rakyat Sekretariat Daerah Kabupaten Mojokerto, nomor : 072/13753/416-206/2014, tanggal 12 Nopember 2014;
 - d. bahwa sesuai pertimbangan dari Dinas Pendapatan Kabupaten Mojokerto, Nomor : 070/2400/416-115.1/2014, tanggal 28 Nopember 2014 perihal Tidak Keberatan Dilaksanakan Penelitian;
 - e. bahwa sesuai konsideran huruf a, b, c, dan d, serta hasil verifikasi Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kabupaten Mojokerto, berkas persyaratan administrasi penelitian telah memenuhi syarat sesuai Pasal 4, 5, dan 6 Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 64 Tahun 2011 tentang Pedoman Penerbitan Rekomendasi Penelitian.

Bupati Mojokerto, memberikan rekomendasi kepada :

- a. Nama Peneliti/Penanggungjawab : **Ahadi Arif Nugraha**
- b. Alamat Peneliti/
Penanggungjawab dan Nomor
Telp./HP : Keputih Gang Makam Blok F No. 2, Sukolilo, Surabaya /
085785166852
- c. Instansi/Civitas/Organisasi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- d. Pekerjaan : Mahasiswa
- e. Kebangsaan : Indonesia

LAMPIRAN
Data Menara Eksisting 2014

No.	Longitude	Latitude	Kecamatan	Tinggi Menara (m)	Pemilik Menara	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
1	112,404000	-7,470120	sooko	50	Indosat	indosat	Xl Axiata	Telkomseluler	Kosong
2	112,420000	-7,402660	jetis	70	Indosat	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
3	112,392000	-7,498110	trowulan	55	Indosat	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
4	112,413000	-7,489670	sooko	52	Indosat	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
5	112,419500	-7,515410	sooko	45	PT Protelindo	Indosat	Telkomsel	Kosong	Kosong
6	112,424500	-7,492310	puri	45	PT Protelindo	HCPT	Telkomsel	XL axiata	Kosong
7	112,415500	-7,520830	sooko	40	PT Protelindo	HCPT	Telkomsel	Kosong	Kosong
8	112,419000	-7,500300	sooko	51	Pt Axiata	Telkomsel	Xl Axiata	Kosong	Kosong
9	112,396500	-7,517800	trowulan	42	Pt Tower Bersama Group	indosat	Telkomsel	Kosong	Kosong
10	112,406000	-7,522610	sooko	40	Pt dian Swastika Sentosa	Indofarma Microselindo	Kosong	Kosong	Kosong
11	112,407700	-7,530830	trowulan	70	Pt STP/ Sampoerna	Xl axiata	Axis	Kosong	Kosong
12	112,422800	-7,515178	puri	72	Kosong	Xl axiata	indosat	Kosong	Kosong
13	112,496800	-7,570610	dlanggu	42	Kosong	Xl axiata	Kosong	Kosong	Kosong
14	112,435317	-7,500138	puri	42	Kosong	esia	Flexi	Smart fren	Kosong
15	112,417219	-7,483490	sooko	60	Kosong	Xl axiata	HCPT	Kosong	Kosong
16	112,431000	-7,555590	puri	72	Telkomsel	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
17	112,463000	-7,529710	puri	62	Telkomsel	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
18	112,438000	-7,491340	puri	72	Telkomsel	Flexi	Esia	Telkomseluler	Kosong
19	112,448000	-7,492810	mojoanyar	52	Indosat	Xl axiata	HCPT	Kosong	Kosong
20	112,459000	-7,545630	dlanggu	72	Indosat	Indosat	Kosong	Kosong	Kosong
21	112,439000	-7,484060	puri	52	Indosat	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
22	112,435000	-7,553900	puri	52	Pt Daya Mitra Telekomunikasi	HCPT	Flexi	Telkomseluler	Kosong
23	112,447000	-7,494300	mojoanyar	51	Pt Xl Axiata	HCPT	Xl Axiata	Kosong	Kosong
24	112,432000	-7,509100	puri	42	Pt Konsorsium Komet	Flexi	Smart Fren	Esia	Kosong
25	112,438000	-7,507400	puri	52	Pt Tower Bersama Group	HCPT	Kosong	Kosong	Kosong
26	112,448300	-7,492900	mojoanyar	42	Pt Tower Bersama Group	Indosat	Kosong	Kosong	Kosong
27	112,494000	-7,498290	bangsal	72	Telkomsel	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong

28	112,477000	-7,498470	bangsal	52	Indosat	Xl axiata	Axis	Kosong	Kosong
29	112,496000	-7,500410	bangsal	72	Indosat	Axis	Xl Axiata	Kosong	Kosong
30	112,499000	-7,498530	bangsal	45	PT Protelindo	esia	HCPT	Kosong	Kosong
31	112,476000	-7,498190	bangsal	45	PT Protelindo	Indosat	Kosong	Kosong	Kosong
32	112,516300	-7,515110	bangsal	62	PT Protelindo	Indosat	Telkomsel	HCPT	Kosong
33	112,496000	-7,500200	bangsal	51	Pt Xl Axiata	Indosat	Kosong	Kosong	Kosong
34	112,486000	-7,497900	bangsal	52	Pt Konsorsium Komet	esia	Frend	telkom Flexi	Kosong
35	112,519000	-7,501500	bangsal	42	Pt Tower Bersama Group	HCPT	Telkomsel	Kosong	Kosong
36	112,489000	-7,502350	bangsal	52	Pt axis telecom indonesia	Axis	Kosong	Kosong	Kosong
37	112,488000	-7,501960	bangsal	40	Pt dian Swastika Sentosa	Bistel	Kosong	Kosong	Kosong
38	112,457800	-7,494160	mojoanyar	52	Indosat	Axis	Telkomsel	XL axiata	Indosat
39	112,485100	-7,480400	mojoanyar	52	PT Protelindo	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
40	112,503000	-7,483100	bangsal	62	Pt Tower Bersama Group	Indosat	Kosong	Kosong	Kosong
41	112,484400	-7,472500	mojoanyar	52	Pt Tower Bersama Group	Indosat	Telkomsel	HCPT	Kosong
42	112,460100	-7,456070	mojoanyar	42	Pt Naragita	Telkomsel	Xl Axiata	Indosat	Kosong
43	112,467453	-7,451256	mojoanyar	55	Kosong	Xl axiata	Kosong	Kosong	Kosong
44	112,513430	-7,490490	bangsal	55	Kosong	Indosat	Kosong	Kosong	Kosong
45	112,510970	-7,492860	bangsal	62	Kosong	Flexi	indosat	Telkomseluler	Esia
46	112,399000	-7,426000	gedek	62	Telkomsel	Axis	Telkomsel	Kosong	Kosong
47	112,411000	-7,455050	gedek	62	Telkomsel	HCPT	Telkomsel	Kosong	Kosong
48	112,420000	-7,453470	gedek	52	Indosat	HCPT	indosat	Kosong	Kosong
49	112,392000	-7,451060	gedek	72	Indosat	indosat	HCPT	Kosong	Kosong
50	112,387800	-7,455550	gedek	55	PT Protelindo	Xl axiata	HCPT	Telkomseluler	Kosong
51	112,432300	-7,455590	gedek	45	PT Protelindo	indosat	Telkomsel	Smart fren	Kosong
52	112,397000	-7,425700	gedek	51	Pt Xl Axiata	Xl axiata	HCPT	Telkomseluler	Kosong
53	112,397000	-7,454500	gedek	52	Pt Konsorsium Komet	fren	Telkom flexi	Kosong	Kosong
54	112,432000	-7,455800	gedek	62	Pt Tower Bersama Group	HCPT	Kosong	Kosong	Kosong
55	112,366300	-7,453600	gedek	52	Pt Tower Bersama Group	Telkomsel	TBG	Kosong	Kosong
56	112,427100	-7,430800	gedek	72	Pt Tower Bersama Group	Xl axiata	HCPT	Telkomseluler	Indosat
57	112,415400	-7,348800	dawar blandong	60	Kosong	Xl axiata	Xl axiata	Kosong	Kosong
58	112,426000	-7,399140	jetis	72	Telkomsel	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong

59	112,456000	-7,445430	mojoanyar	62	Telkomsel	indosat	Telkomsel	Kosong	Kosong
60	112,475000	-7,404530	jetis	72	Indosat	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
61	112,435000	-7,400510	jetis	72	Indosat	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
62	112,435200	-7,433510	gedek	40	Indosat	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
63	112,472400	-7,412500	jetis	62	PT Protelindo	Telkom fleksi	HCPT	Kosong	Kosong
64	112,475300	-7,404190	jetis	50	PT Protelindo	Xl axiata	Protelindo	Kosong	Kosong
65	112,426667	-7,421930	gedek	32	Pt Daya Mitra Telekomunikasi	Telkom fleksi	Kosong	Kosong	Kosong
66	112,428000	-7,399700	jetis	51	Pt Xl Axiata	esia	fleksi	Indosat	Kosong
67	112,427000	-7,398300	jetis	62	Pt Konsorsium Komet	Smart fren	Telkom flexi	Kosong	Kosong
68	112,406000	-7,422700	jetis	52	Pt Tower Bersama Group	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
69	112,492000	-7,409200	jetis	52	Pt axis telecom indonesia	Axis	Kosong	Kosong	Kosong
70	112,437000	-7,401200	jetis	40	Pt dian Swastika Sentosa	Xl axiata	indosat	Telkomseluler	Kosong
71	112,450589	-7,351190	dawar blandong	50	Pt dian Swastika Sentosa	Xl axiata	indosat	Kosong	Kosong
72	112,433789	-7,336460	dawar blandong	60	Kosong	Xl axiata	Telkomsel	Kosong	Kosong
73	112,433925	-7,352800	dawar blandong	42	Kosong	indosat	Telkomsel	Kosong	Kosong
74	112,377000	-7,395690	kemlagi	72	Telkomsel	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
75	112,353000	-7,453140	gedek	72	Telkomsel	Telkomsel	indosat	Kosong	Kosong
76	112,385000	-7,396270	kemlagi	72	Indosat	indosat	Xl Axiata	HCPT	Kosong
77	112,377000	-7,395900	kemlagi	50	Pt Xl Axiata	HCPT	Kosong	Kosong	Kosong
78	112,377000	-7,428700	kemlagi	42	Pt Tower Bersama Group	indosat	Telkomsel	Kosong	Kosong
79	112,397300	-7,422800	gedek	52	Pt Tower Bersama Group	indosat	fleksi	telkomseluler	Kosong
80	112,357000	-7,431020	kemlagi	50	Pt dian Swastika Sentosa	Xl axiata	Axis	HCPT	Kosong
81	112,371000	-7,342100	dawar blandong	72	Telkomsel	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
82	112,425000	-7,329910	dawar blandong	72	Telkomsel	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
83	112,477000	-7,327240	dawar blandong	72	Telkomsel	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
84	112,458000	-7,348800	dawar blandong	62	Telkomsel	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
85	112,425000	-7,330850	dawar blandong	72	Indosat	Telkomsel	indosat	Esia	Kosong
86	112,361000	-7,339850	dawar blandong	72	Indosat	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
87	112,423970	-7,328390	dawar blandong	72	Indosat	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
88	112,387800	-7,334580	dawar blandong	50	PT Protelindo	Xl axiata	Kosong	Kosong	Kosong
89	112,425000	-7,333000	dawar blandong	51	Pt Xl Axiata	HCPT	HCPT	HCPT	Kosong

90	112,369000	-7,342200	dawar blandong	72	Pt axis telecom indonesia	axis	Kosong	Kosong	Kosong
91	112,424700	-7,329410	dawar blandong	62	Pt STP/ Sampoerna	axis	Kosong	Kosong	Kosong
92	112,434300	-7,384940	dawar blandong	72	Kosong	indosat	Smart Fren	Kosong	Kosong
93	112,562000	-7,508530	mojosari	72	Telkomsel	telkomsel	indosat	westindo	Kosong
94	112,534000	-7,500840	mojosari	42	Telkomsel	telkomsel	HCPT	Kosong	Kosong
95	112,530000	-7,505250	mojosari	55	Indosat	HCPT	Kosong	Kosong	Kosong
96	112,550600	-7,511170	mojosari	45	PT Protelindo	HCPT	Kosong	Kosong	Kosong
97	112,544000	-7,504480	mojosari	52	PT Protelindo	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
98	112,566100	-7,513800	pungging	42	Pt Daya Mitra Telekomunikasi	esia	HCPT	Kosong	Kosong
99	112,554000	-7,534100	mojosari	50	Pt XI Axiata	telkomsel	indosat	HCPT	axis
100	112,555000	-7,513200	mojosari	72	Pt XI Axiata	Xl axiata	Kosong	Kosong	Kosong
101	112,564000	-7,524200	mojosari	72	Pt Tower Bersama Group	indosat	Telkomsel	Smart fren	Kosong
102	112,554300	-7,534000	mojosari	52	Pt Tower Bersama Group	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
103	112,566200	-7,512800	pungging	62	Pt Tower Bersama Group	esia	HCPT	Kosong	Kosong
104	112,550335	-7,508896	mojosari	50	Pt dian Swastika Sentosa	bistel	Kosong	Kosong	Kosong
105	112,554500	-7,533290	mojosari	52	Pt Retower Indonesia	Xl axiata	Kosong	Kosong	Kosong
106	112,552248	-7,517047	mojosari	72	Kosong	HCPT	Telkom fleksi	Kosong	Kosong
107	112,545000	-7,544700	pungging	52	Telkomsel	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
108	112,564000	-7,494000	pungging	52	Telkomsel	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
109	112,588000	-7,527070	pungging	72	Telkomsel	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
110	112,561000	-7,478200	pungging	72	Indosat	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
111	112,561000	-7,535040	pungging	72	Indosat	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
112	112,578300	-7,525680	pungging	70	PT Protelindo	Xl axiata	indosat	HCPT	Kosong
113	112,561800	-7,526620	mojosari	45	PT Protelindo	HCPT	Kosong	Kosong	Kosong
114	112,562440	-7,526320	mojosari	52	Pt Daya Mitra Telekomunikasi	Kosong	Kosong	Kosong	Kosong
115	112,556200	-7,562600	pungging	72	Pt Tower Bersama Group	telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
116	112,595400	-7,527900	pungging	50	Pt Tower Bersama Group	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
117	112,570000	-7,520030	pungging	62	Pt axis telecom indonesia	axis	Kosong	Kosong	Kosong
118	112,416680	-7,326450	dawar blandong	62	Kosong	telkom fleksi	Kosong	Kosong	Kosong
119	112,657000	-7,566980	ngoro	52	Telkomsel	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
120	112,588000	-7,568810	ngoro	72	Telkomsel	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong

121	112,615000	-7,554920	ngoro	72	Telkomsel	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
122	112,589000	-7,572280	ngoro	52	Indosat	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
123	112,633500	-7,559130	ngoro	53	PT Protelindo	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
124	112,615700	-7,532860	ngoro	53	PT Protelindo	HCPT	Xl Axiata	Kosong	Kosong
125	112,614300	-7,554400	ngoro	52	Pt Daya Mitra Telekomunikasi	Kosong	Kosong	Kosong	Kosong
126	112,613200	-7,534400	ngoro	42	Pt Daya Mitra Telekomunikasi	Kosong	Kosong	Kosong	Kosong
127	112,578710	-7,599300	trawas	42	Pt Daya Mitra Telekomunikasi	telkomsel	telkom fleksi	Kosong	Kosong
128	112,623000	-7,554700	ngoro	50	Pt Xl Axiata	Xl axiata	Xl axiata	Xl axiata	Kosong
129	112,633000	-7,559300	ngoro	72	Pt Tower Bersama Group	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
130	112,559288	-7,633412	pacet	42	Pt Tower Bersama Group	Telkomsel	indosat	axis	Kosong
131	112,631000	-7,559530	ngoro	52	Pt axis telecom indonesia	axis	Kosong	Kosong	Kosong
132	112,655000	-7,568280	ngoro	50	Pt dian Swastika Sentosa	indosat	Telkomsel	Kosong	Kosong
133	112,617000	-7,568740	ngoro	50	Pt dian Swastika Sentosa	esia	Smart Fren	telkom Flexi	Kosong
134	112,640833	-7,556389	ngoro	60	Kosong	fleksi	telkomsel	Kosong	Kosong
135	112,565623	-7,656986	pacet	62	Kosong	HCPT	fleksi	Kosong	Kosong
136	112,565847	-7,654182	pacet	72	Kosong	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
137	112,569288	-7,633412	trawas	60	Kosong	Xl axiata	Smart Fren	Kosong	Kosong
138	112,416000	-7,589000	jatirejo	72	Telkomsel	telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
139	112,431000	-7,591150	jatirejo	72	Indosat	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
140	112,418000	-7,581600	jatirejo	51	Pt Xl Axiata	mobile 8	HCPT	telkom	Kosong
141	112,417600	-7,581400	jatirejo	52	Pt Tower Bersama Group	Xl axiata	Axis	Kosong	Kosong
142	112,451000	-7,583390	jatirejo	50	Pt dian Swastika Sentosa	Smart fren	Smart Fren	Kosong	Kosong
143	112,491000	-7,613260	gondang	72	Telkomsel	telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
144	112,457000	-7,601560	gondang	72	Telkomsel	Telkomsel	flexi	Kosong	Kosong
145	112,490000	-7,612310	gondang	72	Indosat	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
146	112,475000	-7,610240	gondang	52	PT Protelindo	HCPT	Smart Fren	Kosong	Kosong
147	112,489000	-7,613060	gondang	51	Pt Xl Axiata	Xl axiata	Axis	Kosong	Kosong
148	112,496000	-7,624460	gondang	72	Pt Telkom indonesia	telkom fleksi	telkom fleksi	Kosong	Kosong
149	112,594755	-7,606168	trawas	62	Kosong	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
150	112,568000	-7,676700		42	Telkomsel	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
151	112,536000	-7,644720	pacet	42	Telkomsel	indosat	Telkomsel	telkomseluler	Kosong

152	112,536579	-7,667439	pacet	72	Telkomsel	Telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
153	112,588928	-7,534562	pungging	72	Indosat	Indosat	Kosong	Kosong	Kosong
154	112,567000	-7,674550	pacet	55	Indosat	Indosat	Kosong	Kosong	Kosong
155	112,536000	-7,641500	pacet	52	Indosat	axis	Kosong	Kosong	Kosong
156	112,537900	-7,601300	pacet	50	PT Protelindo	fleksi	telkom	Kosong	Kosong
157	112,531111	-7,601230	pacet	52	Pt Daya Mitra Telekomunikasi	indosat	Telkomsel	Xl axiata	Kosong
158	112,537000	-7,664920	pacet	32	Pt Daya Mitra Telekomunikasi	telkom fleksi	Kosong	Kosong	Kosong
159	112,537000	-7,663780	pacet	32	Pt Daya Mitra Telekomunikasi	esia	Kosong	Kosong	Kosong
160	112,540000	-7,664900	pacet	50	Pt Xl Axiata	Xl axiata	HCPT	Kosong	Kosong
161	112,532834	-7,601063	pacet	52	Pt Tower Bersama Group	Xl axiata	Kosong	Kosong	Kosong
162	112,568000	-7,676700	pacet	62	Pt Tower Bersama Group	telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
163	112,536000	-7,637360	pacet	52	Pt axis telecom indonesia	axis	Kosong	Kosong	Kosong
164	112,541000	-7,652610	pacet	60	Pt dian Swastika Sentosa	Xl axiata	HCPT	Smart fren	Kosong
165	112,580331	-7,667670	trawas	42	Kosong	telkom indonesia	Telkomsel	Kosong	Kosong
166	112,592000	-7,625610	trawas	42	Telkomsel	telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
167	112,595000	-7,666050	trawas	72	Telkomsel	Xl axiata	indosat	Kosong	Kosong
168	112,609000	-7,678260	trawas	72	Telkomsel	telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
169	112,601000	-7,666880	trawas	72	Indosat	indosat	telkom	Kosong	Kosong
170	112,561000	-7,595660	ngoro	72	Indosat	indosat	Esia	Kosong	Kosong
171	112,611000	-7,565580	ngoro	55	Indosat	axis	Xl Axiata	Kosong	Kosong
172	112,611000	-7,670300	trawas	50	Pt Xl Axiata	HCPT	Xl Axiata	axis	Kosong
173	112,608000	-7,654300	trawas	62	Pt Tower Bersama Group	indosat	indosat	Kosong	Kosong
174	112,595600	-7,666100	trawas	62	Pt Tower Bersama Group	telkomsel	telkom fleksi	Kosong	Kosong
175	112,608800	-7,680600	trawas	62	Pt Tower Bersama Group	Xl axiata	indosat	axis	Kosong
176	112,575000	-7,630130	trawas	52	Pt Tower Bersama Group	Xl axiata	indosat	Kosong	Kosong
177	112,598000	-7,660640	trawas	72	Pt axis telecom indonesia	axis	axis	Kosong	Kosong
178	112,609000	-7,677530	trawas	45	Pt STP/ Sampoerna	Xl axiata	Kosong	Kosong	Kosong
179	112,608000	-7,654340	trawas	62	Pt Tower Bersama Group	fleksi	esia	Smart fren	Kosong
180	112,609003	-7,680077	trawas	62	kosong	telkomsel	Smart Fren	Kosong	Kosong
181	112,534000	-7,577930	kutorejo	72	Telkomsel	telkomsel	telkomsel	telkomsel	Kosong
182	112,512000	-7,566760	kutorejo	42	Telkomsel	telkomsel	telkom fleksi	Kosong	Kosong

183	112,512000	-7,532310	kutorejo	72	Telkomsel	telkomsel	telkom	Kosong	Kosong
184	112,536000	-7,563560	kutorejo	72	Indosat	telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
185	112,510000	-7,532080	kutorejo	72	Indosat	indosat	HCPT	Kosong	Kosong
186	112,523000	-7,567400	kutorejo	51	Pt XI Axiata	Xl axiata	Xl axiata	Kosong	Kosong
187	112,434318	-7,536694	puri	70	Pt XI Axiata	telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
188	112,533000	-7,578240	kutorejo	52	Pt axis telecom indonesia	Smart fren	Axis	Kosong	Kosong
189	112,381000	-7,549990	trowulan	42	Telkomsel	Xl axiata	Telkomsel	Kosong	Kosong
190	112,393000	-7,498690	sooko	72	Telkomsel	telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
191	112,408000	-7,531540	trowulan	72	Telkomsel	Smart fren	Esia	telkom Flexi	Kosong
192	112,371000	-7,555990	trowulan	55	Indosat	indosat	HCPT	Kosong	Kosong
193	112,381000	-7,529720	trowulan	55	Indosat	indosat	Telkomsel	Kosong	Kosong
194	112,394000	-7,536020	trowulan	72	Indosat	telkomsel	Axis	Indosat	Kosong
195	112,389400	-7,540920	trowulan	65	PT Protelindo	HCPT	Kosong	Kosong	Kosong
196	112,369100	-7,556650	trowulan	45	PT Protelindo	HCPT	Kosong	Kosong	Kosong
197	112,379600	-7,583000	trowulan	50	PT Protelindo	Xl axiata	Kosong	Kosong	Kosong
198	112,381944	-7,514900	trowulan	72	Pt Daya Mitra Telekomunikasi	telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
199	112,410000	-7,532200	trowulan	51	Pt XI Axiata	telkomsel	Xl Axiata	Indosat	Kosong
200	112,384000	-7,552900	trowulan	72	Pt Tower Bersama Group	telkom fleksi	HCPT	Kosong	Kosong
201	112,411000	-7,552300	trowulan	72	Pt Tower Bersama Group	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
202	112,406000	-7,533020	trowulan	52	Pt axis telecom indonesia	axis	Kosong	Kosong	Kosong
203	112,381000	-7,529910	trowulan	55	Indosat	Smart fren	mobile 8	Kosong	Kosong
204	112,380186	-7,567818	trowulan	62	Indosat	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
205	112,483000	-7,567260	dlanggu	72	Indosat	Xl axiata	indosat	telkomsel	Kosong
206	112,468326	-7,567181	dlanggu	32	Pt Daya Mitra Telekomunikasi	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
207	112,479000	-7,546200	dlanggu	51	Pt XI Axiata	esia	Telkomsel	Xl axiata	Kosong
208	112,485000	-7,570000	dlanggu	62	Pt Konsorsium Komet	telkom fleksi	Kosong	Kosong	Kosong
209	112,475000	-7,528400	dlanggu	52	Pt Tower Bersama Group	indosat	Kosong	Kosong	Kosong
210	112,486000	-7,594800	dlanggu	62	Pt Tower Bersama Group	telkomsel	Kosong	Kosong	Kosong
211	112,444600	-7,569500	jatirejo	62	Pt Tower Bersama Group	indosat	Kosong	Kosong	Kosong

LAMPIRAN
Radius dan Coverage Data Menara Eksisting 2014

No	Nama Kecamatan	Jml BTS		Koordinat Menara				Tinggi menara(m)	Radius 2G rural(meter)	Radius 3G rural(meter)	Luas coverage BTS 2G rural(m2)	Luas coverage BTS 3G rural(m2)
		2G	3G	Latitude	Longitude	Vektor (X)	Vektor(Y)					
1	Bangsals	1		-7,498290	112,494000	664850.76	9170885.79	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
2	Bangsals	2		-7,498470	112,477000	662974.47	9170872.23	52	1077	558	3642177,06	977682,96
3	Bangsals	2		-7,500410	112,496000	665070.69	9170650.59	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
4	Bangsals		2	-7,498530	112,499000	665402.5	9170857.37	45	1029	533	3324760,74	892039,46
5	Bangsals		1	-7,498190	112,476000	662864.21	9170903.57	45	1029	533	3324760,74	892039,46
6	Bangsals	2	1	-7,515110	112,516300	667305.5	9169017.28	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
7	Bangsals	1		-7,500200	112,496000	665070.77	9170673.82	51	1070	555	3594986,00	967198,50
8	Bangsals	3		-7,497900	112,486000	663967.98	9170931.91	52	1077	558	3642177,06	977682,96
9	Bangsals		2	-7,501500	112,519000	667608.7	9170521.34	42	1007	522	3184113,86	855599,76
10	Bangsals	1		-7,502350	112,489000	664297.4	9170438.69	52	1077	558	3642177,06	977682,96
11	Bangsals		1	-7,501960	112,488000	664187.19	9170482.19	40	991	514	3083734,34	829575,44
12	Bangsals	1		-7,483100	112,503000	665849.8	9172562.2	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
13	Bangsals	1		-7,490490	112,513430	666998.15	9171741.02	55	1096	568	3771818,24	1013039,36
14	Bangsals	4		-7,492860	112,510970	666725.75	9171479.86	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
15	Dawar Blandong	1	1	-7,348800	112,415400	656228.9	9187445.35	60	1127	584	3988205,06	1070915,84
16	Dawar Blandong	1	1	-7,351190	112,450589	660112.93	9187168.63	50	1064	552	3554781,44	956770,56
17	Dawar Blandong	1	1	-7,336460	112,433789	658263.41	9188803.47	60	1127	584	3988205,06	1070915,84
18	Dawar Blandong		2	-7,352800	112,433925	658272.64	9186996.52	42	1007	522	3184113,86	855599,76
19	Dawar Blandong	1		-7,342100	112,371000	651329.46	9188201.48	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
20	Dawar Blandong	1		-7,329910	112,425000	657295.37	9189530.87	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
21	Dawar Blandong	1		-7,327240	112,477000	663037.46	9189807.58	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
22	Dawar Blandong	1		-7,348800	112,458000	660931.97	9187430.26	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
23	Dawar Blandong	1	2	-7,330850	112,425000	657295.04	9189426.93	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
24	Dawar Blandong	1		-7,339850	112,361000	650226.22	9188453.64	72	1194	619	4476497,04	1203125,54

25	Dawar Blandong	1		-7,328390	112,423970	657182.19	9189699.32	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
26	Dawar Blandong	1		-7,334580	112,387800	653186.75	9189027.33	50	1064	552	3554781,44	956770,56
27	Dawar Blandong	1	2	-7,333000	112,425000	657294.29	9189189.18	51	1070	555	3594986,00	967198,50
28	Dawar Blandong	1		-7,342200	112,369000	651108.63	9188191.1	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
29	Dawar Blandong	1		-7,329410	112,424700	657262.43	9189586.27	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
30	Dawar Blandong	1	1	-7,384940	112,434300	658302.63	9183442.28	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
31	Dawar Blandong	1		-7,326450	112,416680	656378.01	9189916.39	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
32	Dlanggu		1	-7,570610	112,496800	665132.38	9162887.17	42	1007	522	3184113,86	855599,76
33	Dlanggu	1		-7,545630	112,459000	660970.52	9165663.74	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
34	Dlanggu	1	1	-7,567260	112,483000	663610.85	9163262.85	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
35	Dlanggu		1	-7,567181	112,468326	661991.63	9163277.08	32	924	479	2680856,64	720444,74
36	Dlanggu	1	2	-7,546200	112,479000	663177.36	9165593.27	51	1070	555	3594986,00	967198,50
37	Dlanggu	1		-7,570000	112,485000	663830.51	9162959.09	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
38	Dlanggu	1		-7,528400	112,475000	662742.6	9167563.18	52	1077	558	3642177,06	977682,96
39	Dlanggu	1		-7,594800	112,486000	663931.47	9160216.19	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
40	Gedek	2		-7,426000	112,399000	654391.54	9178914.23	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
41	Gedek	2		-7,455050	112,411000	655705.85	9175697.64	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
42	Gedek	2		-7,453470	112,420000	656699.78	9175869.18	52	1077	558	3642177,06	977682,96
43	Gedek	1	1	-7,451060	112,392000	653610.16	9176145.51	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
44	Gedek	2	1	-7,455550	112,387800	653145.04	9175650.47	55	1096	568	3771818,24	1013039,36
45	Gedek		3	-7,455590	112,432300	658056.62	9175630.36	45	1029	533	3324760,74	892039,46
46	Gedek	2	1	-7,425700	112,397000	654170.88	9178948.1	51	1070	555	3594986,00	967198,50
47	Gedek	1	1	-7,454500	112,397000	654160.83	9175763.37	52	1077	558	3642177,06	977682,96
48	Gedek	1		-7,455800	112,432000	658023.43	9175607.24	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
49	Gedek	2		-7,453600	112,366300	650772.72	9175873.5	52	1077	558	3642177,06	977682,96
50	Gedek	3	1	-7,430800	112,427100	657491.52	9178373.54	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
51	Gedek		1	-7,433510	112,435200	658384.63	9178070.98	40	991	514	3083734,34	829575,44
52	Gedek		1	-7,421930	112,426667	657446.88	9179354.56	32	924	479	2680856,64	720444,74
53	Gedek	1	1	-7,453140	112,353000	649304.94	9175928.88	72	1194	619	4476497,04	1203125,54

54	Gedek	2	1	-7,422800	112,397300	654205.01	9179268.68	52	1077	558	3642177,06	977682,96
55	Gondang	1		-7,613260	112,491000	664476.14	9158172.88	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
56	Gondang	1	1	-7,601560	112,457000	660729.08	9159479.51	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
57	Gondang	1		-7,612310	112,490000	664366.17	9158278.32	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
58	Gondang	1	1	-7,610240	112,475000	662711.9	9158512.91	52	1077	558	3642177,06	977682,96
59	Gondang	1	1	-7,613060	112,489000	664255.55	9158195.76	51	1070	555	3594986,00	967198,50
60	Gondang	1	1	-7,624460	112,496000	665023.54	9156932.41	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
61	Jatirejo	1		-7,589000	112,416000	656209.79	9160883.43	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
62	Jatirejo	1		-7,591150	112,431000	657864.1	9160640.24	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
63	Jatirejo	2	1	-7,581600	112,418000	656433.14	9161701.02	51	1070	555	3594986,00	967198,50
64	Jatirejo	1	1	-7,581400	112,417600	656389.08	9161723.28	52	1077	558	3642177,06	977682,96
65	Jatirejo	2		-7,583390	112,451000	660073.77	9161491.04	50	1064	552	3554781,44	956770,56
66	Jatirejo	1		-7,569500	112,444600	659372.69	9163029.4	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
67	Jetis	1		-7,402660	112,420000	656717.78	9181487.83	70	1183	613	4394395,46	1179914,66
68	Jetis	1		-7,399140	112,426000	657381.35	9181874.96	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
69	Jetis	1		-7,404530	112,475000	662788.43	9181261.27	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
70	Jetis	1		-7,400510	112,435000	658374.35	9181720.26	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
71	Jetis	1	1	-7,412500	112,472400	662498.5	9180380.87	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
72	Jetis	2		-7,404190	112,475300	662821.67	9181298.76	50	1064	552	3554781,44	956770,56
73	Jetis	3		-7,399700	112,428000	657601.93	9181812.32	51	1070	555	3594986,00	967198,50
74	Jetis	2		-7,398300	112,427000	657492.04	9181967.49	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
75	Jetis	1		-7,422700	112,406000	655165.36	9179276.7	52	1077	558	3642177,06	977682,96
76	Jetis	1		-7,409200	112,492000	664663.31	9180738.57	52	1077	558	3642177,06	977682,96
77	Jetis		3	-7,401200	112,437000	658594.88	9181643.25	40	991	514	3083734,34	829575,44
78	Kemlagi	1		-7,395690	112,377000	651973.59	9182273.5	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
79	Kemlagi	2	1	-7,396270	112,385000	652856.48	9182206.62	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
80	Kemlagi	1		-7,395900	112,377000	651973.51	9182250.28	50	1064	552	3554781,44	956770,56
81	Kemlagi		2	-7,428700	112,377000	651962.27	9178623.27	42	1007	522	3184113,86	855599,76
82	Kemlagi	3		-7,431020	112,357000	649753.93	9178373.53	50	1064	552	3554781,44	956770,56

83	Kutorejo	1	2	-7,577930	112,534000	669234.5	9162063.36	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
84	Kutorejo		2	-7,566760	112,512000	666811.16	9163307.12	42	1007	522	3184113,86	855599,76
85	Kutorejo	1	1	-7,532310	112,512000	666824.37	9167116.83	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
86	Kutorejo	1		-7,563560	112,536000	669460.81	9163651.73	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
87	Kutorejo	1	1	-7,532080	112,510000	666603.74	9167143.03	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
88	Kutorejo		2	-7,567400	112,523000	668024.76	9163232.11	51	1070	555	3594986,00	967198,50
89	Kutorejo		2	-7,578240	112,533000	669124.04	9162029.47	52	1077	558	3642177,06	977682,96
90	Mojoanyar	1	1	-7,492810	112,448000	659775.96	9171508.8	52	1077	558	3642177,06	977682,96
91	Mojoanyar	2		-7,494300	112,447000	659665.05	9171344.39	51	1070	555	3594986,00	967198,50
92	Mojoanyar		1	-7,492900	112,448300	659809.04	9171498.74	42	1007	522	3184113,86	855599,76
93	Mojoanyar	3	1	-7,494160	112,457800	660857.05	9171355.93	52	1077	558	3642177,06	977682,96
94	Mojoanyar	1		-7,480400	112,485100	663875.19	9172867.49	52	1077	558	3642177,06	977682,96
95	Mojoanyar	2	1	-7,472500	112,484400	663800.87	9173741.37	52	1077	558	3642177,06	977682,96
96	Mojoanyar		3	-7,456070	112,460100	661124.86	9175567.22	42	1007	522	3184113,86	855599,76
97	Mojoanyar	1		-7,451256	112,467453	661938.22	9176096.88	55	1096	568	3771818,24	1013039,36
98	Mojoanyar	1	1	-7,445430	112,456000	660676.2	9176745.33	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
99	Mojosari	2	1	-7,508530	112,562000	672351.74	9169727.23	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
100	Mojosari		2	-7,500840	112,534000	669264.46	9170588.56	42	1007	522	3184113,86	855599,76
101	Mojosari	1		-7,505250	112,530000	668821.29	9170102.41	55	1096	568	3771818,24	1013039,36
102	Mojosari		1	-7,511170	112,550600	671092.53	9169439.75	45	1029	533	3324760,74	892039,46
103	Mojosari	1		-7,504480	112,544000	670366.72	9170182.15	52	1077	558	3642177,06	977682,96
104	Mojosari	2	2	-7,534100	112,554000	671458.77	9166902.62	50	1064	552	3554781,44	956770,56
105	Mojosari	1		-7,513200	112,555000	671577.34	9169213.53	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
106	Mojosari	2	1	-7,524200	112,564000	672566.29	9167993.51	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
107	Mojosari	1		-7,534000	112,554300	671491.91	9166913.56	52	1077	558	3642177,06	977682,96
108	Mojosari	1		-7,508896	112,550335	671064.17	9169691.33	50	1064	552	3554781,44	956770,56
109	Mojosari	1		-7,533290	112,554500	671514.26	9166992.00	52	1077	558	3642177,06	977682,96
110	Mojosari	1	1	-7,517047	112,552248	671272.11	9168789.17	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
111	Mojosari		1	-7,526620	112,561800	672322.53	9167726.76	45	1029	533	3324760,74	892039,46

112	Mojosari	1		-7,526320	112,562440	672393.28	9167759.68	52	1077	558	3642177,06	977682,96
113	Ngoro	1		-7,566980	112,657000	682812.31	9163224.51	52	1077	558	3642177,06	977682,96
114	Ngoro	1		-7,568810	112,588000	675197.05	9163050.53	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
115	Ngoro	1		-7,554920	112,615000	678182.31	9164575.68	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
116	Ngoro	1		-7,572280	112,589000	675306.01	9162666.38	52	1077	558	3642177,06	977682,96
117	Ngoro	1		-7,559130	112,633500	680222.19	9164102.47	53	1083	562	3682871,46	991750,16
118	Ngoro	1	1	-7,532860	112,615700	678268.59	9167015.05	53	1083	562	3682871,46	991750,16
119	Ngoro	1		-7,554400	112,614300	678105.27	9164633.47	52	1077	558	3642177,06	977682,96
120	Ngoro		1	-7,534400	112,613200	677992.05	9166845.76	42	1007	522	3184113,86	855599,76
121	Ngoro	1	2	-7,554700	112,623000	679065.26	9164596.73	50	1064	552	3554781,44	956770,56
122	Ngoro	1		-7,559300	112,633000	680166.94	9164083.88	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
123	Ngoro	1		-7,559530	112,631000	679946.13	9164059.27	52	1077	558	3642177,06	977682,96
124	Ngoro	1	1	-7,568280	112,655000	682591.05	9163081.58	50	1064	552	3554781,44	956770,56
125	Ngoro	1	2	-7,568740	112,617000	678397.34	9163046.48	50	1064	552	3554781,44	956770,56
126	Ngoro	1	1	-7,556389	112,640833	681032.59	9164402.57	60	1127	584	3988205,06	1070915,84
127	Ngoro	1	1	-7,595660	112,561000	672206.86	9160092.00	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
128	Ngoro	1	1	-7,565580	112,611000	677736.51	9163398.41	55	1096	568	3771818,24	1013039,36
129	Pacet		3	-7,633412	112,559288	672002.89	9155917.71	42	1007	522	3184113,86	855599,76
130	Pacet	1	1	-7,656986	112,565623	672692.39	9153308.13	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
131	Pacet	1		-7,654182	112,565847	672718.23	9153618.14	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
132	Pacet		3	-7,644720	112,536000	669428.97	9154676.4	42	1007	522	3184113,86	855599,76
133	Pacet	1		-7,667439	112,536579	669483.87	9152163.71	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
134	Pacet	1		-7,674550	112,567000	672837.22	9151365.18	55	1096	568	3771818,24	1013039,36
135	Pacet	1		-7,641500	112,536000	669430.24	9155032.49	52	1077	558	3642177,06	977682,96
136	Pacet	2		-7,601300	112,537900	669655.7	9159477.39	50	1064	552	3554781,44	956770,56
137	Pacet	3		-7,601230	112,531111	668906.61	9159487.79	52	1077	558	3642177,06	977682,96
138	Pacet		1	-7,664920	112,537000	669531.31	9152442.12	32	924	479	2680856,64	720444,74
139	Pacet		1	-7,663780	112,537000	669531.76	9152568.19	32	924	479	2680856,64	720444,74
140	Pacet	2		-7,664900	112,540000	669862.3	9152443.15	50	1064	552	3554781,44	956770,56

141	Pacet	1		-7,601063	112,532834	669096.8	9159505.58	52	1077	558	3642177,06	977682,96
142	Pacet	1		-7,676700	112,568000	672946.68	9151127.01	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
143	Pacet	1		-7,637360	112,536000	669431.87	9155490.33	52	1077	558	3642177,06	977682,96
144	Pacet	2	1	-7,652610	112,541000	669977.5	9153801.88	60	1127	584	3988205,06	1070915,84
145	Pungging		2	-7,513800	112,566100	672802.16	9169142.81	42	1007	522	3184113,86	855599,76
146	Pungging	2		-7,512800	112,566200	672813.6	9169253.36	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
147	Pungging	1		-7,544700	112,545000	670461.38	9165733.91	52	1077	558	3642177,06	977682,96
148	Pungging	1		-7,494000	112,564000	672578.2	9171333.3	52	1077	558	3642177,06	977682,96
149	Pungging	1		-7,527070	112,588000	675213.86	9167666.58	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
150	Pungging	1		-7,478200	112,561000	672253.29	9173081.78	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
151	Pungging	1		-7,535040	112,561000	672230.92	9166795.91	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
152	Pungging	2	1	-7,525680	112,578300	674143.89	9167824.17	70	1183	613	4394395,46	1179914,66
153	Pungging	1		-7,562600	112,556200	671690.31	9163749.97	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
154	Pungging	1		-7,527900	112,595400	676030.22	9167571.81	50	1064	552	3554781,44	956770,56
155	Pungging	1		-7,520030	112,570000	673230.12	9168452.3	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
156	Pungging	1		-7,534562	112,588928	675313.27	9166837.66	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
157	Puri		3	-7,492310	112,424500	657182.57	9171572.57	45	1029	533	3324760,74	892039,46
158	Puri	2		-7,515178	112,422800	656986.75	9169044.38	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
159	Puri		3	-7,500138	112,435317	658373.55	9170703.04	42	1007	522	3184113,86	855599,76
160	Puri	1		-7,555590	112,431000	657877.05	9164572.57	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
161	Puri	1		-7,529710	112,463000	661417.82	9167422.76	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
162	Puri	3		-7,491340	112,438000	658672.84	9171674.98	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
163	Puri	1		-7,484060	112,439000	658785.84	9172479.66	52	1077	558	3642177,06	977682,96
164	Puri	3		-7,553900	112,435000	658319.06	9164758.00	52	1077	558	3642177,06	977682,96
165	Puri		3	-7,509100	112,432000	658004.24	9169713.2	42	1007	522	3184113,86	855599,76
166	Puri	1		-7,507400	112,438000	658667.02	9169899.02	52	1077	558	3642177,06	977682,96
167	Puri	1		-7,536694	112,434318	658250.06	9166660.94	70	1183	613	4394395,46	1179914,66
168	Sooko	3		-7,470120	112,404000	654927.94	9174033.65	50	1064	552	3554781,44	956770,56
169	Sooko	1		-7,489670	112,413000	655914.32	9171868.6	52	1077	558	3642177,06	977682,96

170	Sooko		2	-7,515410	112,419500	656622.48	9169019.91	45	1029	533	3324760,74	892039,46
171	Sooko		2	-7,520830	112,415500	656179.11	9168421.99	40	991	514	3083734,34	829575,44
172	Sooko	2		-7,500300	112,419000	656572.71	9170690.98	51	1070	555	3594986,00	967198,50
173	Sooko		1	-7,522610	112,406000	655130.09	9168228.53	40	991	514	3083734,34	829575,44
174	Sooko	2		-7,483490	112,417219	656382.15	9172550.5	60	1127	584	3988205,06	1070915,84
175	Sooko	1		-7,498690	112,393000	653703.88	9170878.21	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
176	Trawas		2	-7,599300	112,578710	674159.61	9159682.37	42	1007	522	3184113,86	855599,76
177	Trawas	1	1	-7,666050	112,595000	675929.83	9152293.82	60	1127	584	3988205,06	1070915,84
178	Trawas	1		-7,606168	112,594755	675927.3	9158916.34	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
179	Trawas		2	-7,667670	112,580331	674310.77	9152120.64	42	1007	522	3184113,86	855599,76
180	Trawas		1	-7,625610	112,592000	675615.39	9156767.35	42	1007	522	3184113,86	855599,76
181	Trawas	1	1	-7,633412	112,569288	673106.25	9155913.71	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
182	Trawas	1		-7,678260	112,609000	677469.37	9150937.72	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
183	Trawas	1	1	-7,666880	112,601000	676591.46	9152199.56	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
184	Trawas	1	2	-7,670300	112,611000	677693.33	9151817.21	50	1064	552	3554781,44	956770,56
185	Trawas	2		-7,654300	112,608000	677368.97	9153587.92	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
186	Trawas	2		-7,666100	112,595600	675996.01	9152288.04	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
187	Trawas	1	2	-7,680600	112,608800	677446.34	9150679.02	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
188	Trawas	2		-7,630130	112,575000	673737.81	9156274.37	52	1077	558	3642177,06	977682,96
189	Trawas	1	1	-7,660640	112,598000	676263.04	9152890.89	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
190	Trawas		1	-7,677530	112,609000	677469.68	9151018.46	45	1029	533	3324760,74	892039,46
191	Trawas	3		-7,654340	112,608000	677368.95	9153583.5	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
192	Trawas	1	1	-7,680077	112,609003	677468.95	9150736.78	62	1138	590	4066438,16	1093034,00
193	Trowulan		1	-7,498110	112,392000	653593.72	9170942.7	55	1096	568	3771818,24	1013039,36
194	Trowulan		2	-7,517800	112,396500	654083.41	9168763.78	42	1007	522	3184113,86	855599,76
195	Trowulan	1	1	-7,530830	112,407700	655314.77	9167318.95	70	1183	613	4394395,46	1179914,66
196	Trowulan		2	-7,549990	112,381000	652361.63	9165209.63	42	1007	522	3184113,86	855599,76
197	Trowulan	1	2	-7,531540	112,408000	655347.62	9167240.33	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
198	Trowulan		2	-7,555990	112,371000	651256.07	9164549.63	55	1096	568	3771818,24	1013039,36

199	Trowulan		2	-7,529720	112,381000	652368.72	9167451.09	55	1096	568	3771818,24	1013039,36
200	Trowulan	2	1	-7,536020	112,394000	653801.09	9166749.88	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
201	Trowulan	1		-7,540920	112,389400	653291.75	9166209.65	65	1156	599	4196095,04	1126635,14
202	Trowulan		1	-7,556650	112,369100	651046.19	9164477.31	45	1029	533	3324760,74	892039,46
203	Trowulan		1	-7,583000	112,379600	652195.57	9161559.85	50	1064	552	3554781,44	956770,56
204	Trowulan	1		-7,514900	112,381944	652478.07	9169089.56	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
205	Trowulan		3	-7,532200	112,410000	655568.09	9167166.63	51	1070	555	3594986,00	967198,50
206	Trowulan	1	1	-7,552900	112,384000	652691.66	9164886.79	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
207	Trowulan	1		-7,552300	112,411800	655759.54	9164943.3	72	1194	619	4476497,04	1203125,54
208	Trowulan		1	-7,533020	112,406000	655126.39	9167077.38	52	1077	558	3642177,06	977682,96
209	Trowulan		2	-7,529910	112,381000	652368.66	9167430.08	55	1096	568	3771818,24	1013039,36
210	Trowulan	1		-7,567818	112,380186	652265.56	9163238.48	62	1138	590	4066438,16	1093034,00

LAMPIRAN
Data Titik Koordinat RTRW

No.	Kecamatan	Titik Koordinat RTRW	
		X (m)	Y (m)
1	Jatirejo	658572.89	9156078.94
2	Jatirejo	658227.88	9157738.52
3	Jatirejo	657385.91	9159106.69
4	Jatirejo	655967.09	9156812.65
5	Jatirejo	655314.61	9159222.73
6	Jatirejo	654285.91	9161161.81
7	Jatirejo	655484.27	9161554.59
8	Jatirejo	656378.22	9160257.97
9	Jatirejo	658664.89	9159689.33
10	Jatirejo	657374.3	9160707.99
11	Jatirejo	656849.8	9161703.41
12	Jatirejo	656067.18	9162834.14
13	Jatirejo	658023.53	9161502.82
14	Jatirejo	658901.54	9161374.74
15	Jatirejo	659584.59	9161711.96
16	Gondang	660911.47	9160003.51
17	Gondang	660509.96	9158630.73
18	Gondang	660697.58	9157596.12
19	Gondang	662288.12	9158227.93
20	Gondang	663329.39	9158330.65
21	Gondang	664345.53	9158115.38
22	Gondang	665402.64	9158040.18
23	Gondang	666937.53	9158221.28
24	Gondang	666313.18	9156625.69
25	Gondang	664836.44	9156940.8

No.	Kecamatan	Titik Koordinat RTRW	
		X (m)	Y (m)
151	Bangsals	663097.42	9171726.2
152	Bangsals	662923.16	9169462.87
153	Bangsals	663714.12	9168222.86
154	Bangsals	664620.19	9167739.49
155	Bangsals	665015.76	9169171.46
156	Bangsals	664078.28	9169936.04
157	Bangsals	665403.46	9170495.08
158	Mojoanyar	667582.84	9173964.14
159	Mojoanyar	665834.59	9173343.32
160	Mojoanyar	665621.88	9174439.53
161	Mojoanyar	665083.38	9173568.06
162	Mojoanyar	664360.18	9172972.68
163	Mojoanyar	662950.96	9172875.24
164	Mojoanyar	661822.86	9171054.14
165	Mojoanyar	660073.33	9171088.14
166	Mojoanyar	661422.21	9173238.09
167	Mojoanyar	662994.53	9174677.75
168	Mojoanyar	661834.64	9175983.33
169	Mojoanyar	664394.03	9174398.91
170	Dlanggu	662904.68	9167355.17
171	Dlanggu	662927.58	9165808.44
172	Dlanggu	664140.34	9165923.63
173	Dlanggu	664651.1	9164449.87
174	Dlanggu	663179.07	9164501.33
175	Dlanggu	661328.29	9164906.91

26	Gondang	663662.12	9156935.01
27	Gondang	662757.23	9156570.3
28	Gondang	661186.25	9155120.33
29	Gondang	661340.47	9153457.59
30	Gondang	662926.08	9155354.49
31	Gondang	664295.99	9154857.0
32	Gondang	663553.44	9153597.42
33	Gondang	662963.59	9154260.66
34	Pacet	670502.8	9159228.43
35	Pacet	668748.56	9158540.71
36	Pacet	669664.81	9157448.26
37	Pacet	671002.85	9157314.42
38	Pacet	671980.69	9156306.51
39	Pacet	670389.68	9155242.06
40	Pacet	671419.83	9154008.37
41	Pacet	673006.92	9153545.2
42	Pacet	672626.03	9152053.83
43	Pacet	671743.81	9152132.57
44	Pacet	670540.98	9152705.01
45	Pacet	669015.99	9156351.53
46	Pacet	667766.7	9156080.59
47	Pacet	669295.66	9154483.89
48	Pacet	667835.68	9154994.47
49	Pacet	666252.47	9155385.77
50	Pacet	667936.42	9153403.84
51	Pacet	668172.24	9152795.99
52	Pacet	669483.87	9152163.71
53	Pacet	669910.68	9151013.6
54	Tawas	675649.11	9152043.81

176	Dlanggu	659600.06	9164342.17
177	Dlanggu	661643.66	9163689.63
178	Dlanggu	662049.56	9162589.15
179	Dlanggu	663512.39	9163481.59
180	Dlanggu	661742.91	9161773.51
181	Dlanggu	662460.19	9160062.53
182	Dlanggu	663352.11	9161780.55
183	Dlanggu	663514.0	9160364.71
184	Dlanggu	664799.65	9160280.44
185	Dlanggu	664521.02	9162365.53
186	Puri	657645.96	9163829.76
187	Puri	657297.54	9165128.5
188	Puri	656773.82	9167059.22
189	Puri	658659.52	9165837.95
190	Puri	659526.64	9166595.03
191	Puri	658001.23	9167138.15
192	Puri	657981.71	9168120.53
193	Puri	660003.11	9167312.91
194	Puri	661478.58	9165795.18
195	Puri	661390.9	9166894.48
196	Puri	660724.95	9167903.35
197	Puri	660932.93	9169051.64
198	Puri	659148.79	9168670.39
199	Puri	658998.88	9170470.2
200	Puri	657268.59	9169175.83
201	Puri	657787.71	9171234.43
202	Trowulan	652845.75	9161645.25
203	Trowulan	651958.12	9162709.33
204	Trowulan	653856.62	9163547.24

55	Tawas	676991.6	9151895.49
56	Tawas	678370.32	9153107.29
57	Tawas	677283.59	9153327.91
58	Tawas	677811.56	9154953.76
59	Tawas	676506.89	9153280.38
60	Tawas	675598.64	9153399.09
61	Tawas	676097.23	9155065.2
62	Tawas	675992.98	9156592.77
63	Tawas	675512.38	9160500.23
64	Tawas	673769.57	9159874.34
65	Tawas	672847.66	9158357.49
66	Tawas	674230.95	9155291.95
67	Ngoro	680570.22	9160076.84
68	Ngoro	679789.65	9161382.37
69	Ngoro	681479.22	9162886.61
70	Ngoro	681395.41	9165443.89
71	Ngoro	679841.53	9165008.67
72	Ngoro	679337.52	9166789.68
73	Ngoro	678678.87	9166165.72
74	Ngoro	678398.92	9163917.95
75	Ngoro	679207.74	9163474.22
76	Ngoro	677794.79	9161971.98
77	Ngoro	677132.16	9164017.42
78	Ngoro	677939.84	9165108.86
79	Ngoro	677386.14	9166662.97
80	Ngoro	676971.71	9167891.96
81	Ngoro	677112.68	9169014.4
82	Ngoro	676285.65	9165531.11
83	Ngoro	675329.9	9163558.22

205	Trowulan	652190.17	9164759.88
206	Trowulan	651127.53	9165079.72
207	Trowulan	651736.13	9167086.07
208	Trowulan	652781.11	9167622.85
209	Trowulan	654524.61	9164321.83
210	Trowulan	655711.13	9165054.48
211	Trowulan	655467.53	9166676.85
212	Trowulan	653976.55	9167229.8
213	Trowulan	653814.42	9165877.78
214	Trowulan	653331.9	9169016.42
215	Trowulan	652953.92	9171179.7
216	Trowulan	652344.28	9169568.69
217	Trowulan	652172.07	9170885.15
218	Soko	655926.66	9168198.98
219	Soko	656109.91	9169378.42
220	Soko	654577.36	9168968.33
221	Soko	654994.07	9169999.28
222	Soko	653897.66	9170735.49
223	Soko	653999.7	9171833.25
224	Soko	655290.11	9170944.7
225	Soko	656151.89	9170519.83
226	Soko	656321.59	9171053.51
227	Soko	656473.09	9171830.86
228	Soko	655512.57	9172036.32
229	Soko	655060.23	9172914.68
230	Soko	653936.68	9173223.8
231	Soko	655119.11	9174486.65
232	Soko	655482.75	9174441.47
233	Gedek	657979.29	9177346.2

84	Ngoro	673712.15	9161594.47
85	Ngoro	675101.24	9161561.2
86	Pungging	673584.55	9171510.75
87	Pungging	673046.42	9169608.63
88	Pungging	675234.4	9169799.04
89	Pungging	673968.08	9168833.18
90	Pungging	674839.99	9168197.22
91	Pungging	675281.69	9166833.69
92	Pungging	674296.88	9166455.5
93	Pungging	675304.73	9167614.49
94	Pungging	673495.68	9167138.08
95	Pungging	672919.64	9166754.18
96	Pungging	674630.68	9164831.36
97	Pungging	673250.12	9164653.43
98	Pungging	673424.69	9165568.17
99	Pungging	672275.16	9165961.13
100	Pungging	671035.05	9165864.36
101	Pungging	671482.94	9164795.24
102	Pungging	671755.96	9163347.52
103	Pungging	673463.26	9162709.24
104	Pungging	671994.04	9161635.28
105	Kutorejo	670319.38	9162197.09
106	Kutorejo	669204.72	9161596.33
107	Kutorejo	669364.29	9163630.72
108	Kutorejo	668534.26	9165466.1
109	Kutorejo	669453.67	9166069.23
110	Kutorejo	667852.68	9163062.41
111	Kutorejo	667296.38	9161792.14
112	Kutorejo	668381.69	9160390.17

234	Gedek	657642.25	9176240.35
235	Gedek	657530.03	9178642.24
236	Gedek	656384.35	9178151.62
237	Gedek	655958.82	9176348.82
238	Gedek	655489.61	9177629.76
239	Gedek	655097.06	9176260.12
240	Gedek	654090.52	9178735.82
241	Gedek	654031.26	9177024.96
242	Gedek	654165.95	9175810.57
243	Gedek	653237.29	9176803.54
244	Gedek	652140.93	9176415.74
245	Gedek	652207.1	9177779.43
246	Gedek	650325.05	9176158.96
247	Kemlagi	654738.27	9183573.27
248	Kemlagi	654129.19	9182044.84
249	Kemlagi	652388.37	9183681.45
250	Kemlagi	653619.13	9180262.88
251	Kemlagi	652351.88	9182486.3
252	Kemlagi	651657.7	9182859.01
253	Kemlagi	652080.67	9180994.08
254	Kemlagi	650839.97	9182868.81
255	Kemlagi	649755.69	9183576.3
256	Kemlagi	648336.89	9183113.29
257	Kemlagi	649252.33	9181439.56
258	Kemlagi	650395.14	9181436.18
259	Kemlagi	651724.99	9181305.91
260	Kemlagi	651428.46	9179509.35
261	Kemlagi	650374.76	9177142.42
262	Kemlagi	650386.02	9179006.43

113	Kutorejo	666729.42	9160590.48
114	Kutorejo	665705.93	9161755.76
115	Kutorejo	665885.29	9163330.02
116	Kutorejo	666592.67	9163532.6
117	Kutorejo	667657.78	9165238.14
118	Kutorejo	666445.01	9165247.33
119	Kutorejo	666445.2	9166645.83
120	Kutorejo	665826.44	9168511.69
121	Kutorejo	666859.23	9168516.21
122	Mojosari	671851.06	9167076.84
123	Mojosari	670284.51	9167087.27
124	Mojosari	668689.32	9167675.46
125	Mojosari	668667.38	9168978.59
126	Mojosari	668969.46	9170974.78
127	Mojosari	670418.45	9168763.44
128	Mojosari	671095.13	9167961.48
129	Mojosari	671875.03	9168042.65
130	Mojosari	672214.5	9168071.3
131	Mojosari	672554.74	9168098.28
132	Mojosari	672305.86	9168529.37
133	Mojosari	672162.98	9169439.16
134	Mojosari	672276.52	9168812.48
135	Mojosari	671766.8	9170165.15
136	Mojosari	671122.24	9170507.83
137	Mojosari	669883.4	9170365.11
138	Mojosari	670303.44	9171489.21
139	Mojosari	671164.09	9172609.54
140	Mojosari	669364.36	9173025.48
141	Bangsar	667599.94	9169647.83

263	Kemlagi	649675.75	9180130.0
264	Kemlagi	648952.57	9178947.23
265	Kemlagi	648435.69	9176665.57
266	Kemlagi	647905.09	9176618.64
267	Jetis	661452.25	9185019.71
268	Jetis	662522.99	9182911.64
269	Jetis	663802.03	9181194.2
270	Jetis	662581.6	9180539.95
271	Jetis	661291.05	9182486.85
272	Jetis	660580.57	9182083.55
273	Jetis	661280.42	9179121.79
274	Jetis	659181.63	9182333.05
275	Jetis	658272.61	9181318.29
276	Jetis	660167.33	9179937.91
277	Jetis	659564.69	9178402.98
278	Jetis	659991.77	9177158.18
279	Jetis	657096.86	9179869.57
280	Jetis	655326.25	9179889.14
281	Jetis	657218.54	9181707.06
282	Jetis	655736.52	9181515.06
283	Dawarblandong	661918.04	9191197.87
284	Dawarblandong	662045.2	9188993.95
285	Dawarblandong	660674.31	9187979.59
286	Dawarblandong	659689.83	9190236.92
287	Dawarblandong	659322.61	9185816.2
288	Dawarblandong	658563.31	9190677.45
289	Dawarblandong	657759.37	9190558.26
290	Dawarblandong	657612.18	9189199.23
291	Dawarblandong	656707.77	9190186.83

142	Bangsal	666995.22	9170856.21
143	Bangsal	667915.0	9172123.8
144	Bangsal	667096.64	9172167.54
145	Bangsal	667366.31	9173202.05
146	Bangsal	666210.43	9172317.12
147	Bangsal	665494.81	9172227.56
148	Bangsal	665183.09	9171697.8
149	Bangsal	664403.75	9171562.22
150	Bangsal	663720.89	9171561.55

292	Dawarblandong	656986.87	9188685.12
293	Dawarblandong	657353.24	9186687.06
294	Dawarblandong	655783.63	9189089.12
295	Dawarblandong	655231.41	9190432.32
296	Dawarblandong	654667.66	9189403.79
297	Dawarblandong	655050.93	9188047.75
298	Dawarblandong	653233.33	9189061.57
299	Dawarblandong	652253.26	9187798.23
300	Dawarblandong	650426.93	9188959.93

LAMPIRAN
Titik Koordinat Hasil Optimasi

No.	Titik Koordinat Optimasi		
	Latitude	Longitude	Radius rural (meter)
1	-7,567260	112,483000	1298
2	-7,455550	112,387800	1155
4	-7,666880	112,601000	1298
6	-7,627805	112,475471	1298
7	-7,609799	112,529709	1298
8	-7,639574	112,544689	1298
9	-7,661764	112,524670	1298
10	-7,546961	112,644085	1298
11	-7,546344	112,597782	1298
12	-7,543502	112,550194	1298
13	-7,581712	112,559021	1298
14	-7,582154	112,533745	1298
15	-7,541700	112,535858	1298
16	-7,580823	112,502033	1298
17	-7,524537	112,550671	1298
18	-7,492663	112,543385	1298
19	-7,486137	112,499794	1298
20	-7,470369	112,518658	1298
21	-7,480358	112,476726	1298
23	-7,532386	112,432049	1298
24	-7,530746	112,450184	1298
25	-7,572612	112,377415	1298
26	-7,531675	112,395576	1298
27	-7,512183	112,414845	1298
28	-7,499975	112,394760	1298

No.	Titik Koordinat Optimasi		
	Latitude	Longitude	Radius rural (meter)
185	-7,668330	112,565063	1700
186	-7,632076	112,520889	1700
187	-7,646465	112,534798	1700
188	-7,656275	112,522513	1700
189	-7,661764	112,524670	1700
190	-7,656654	112,607235	1700
191	-7,627176	112,595428	1700
192	-7,611323	112,566864	1700
193	-7,638997	112,579502	1700
194	-7,583740	112,629673	1700
195	-7,578476	112,611576	1700
196	-7,524974	112,603920	1700
197	-7,546344	112,597782	1700
198	-7,564215	112,589187	1700
199	-7,534599	112,588642	1700
200	-7,527538	112,588825	1700
201	-7,554380	112,570305	1700
202	-7,576686	112,543827	1700
203	-7,593087	112,526325	1700
204	-7,566582	112,503609	1700
205	-7,549272	112,519611	1700
206	-7,523778	112,557735	1700
207	-7,523508	112,560810	1700
208	-7,523253	112,563892	1700
209	-7,519363	112,561623	1700

29	-7,428369	112,427441	1298
30	-7,393755	112,380421	1298
31	-7,420702	112,372139	1298
32	-7,411059	112,473148	1298
33	-7,404148	112,434090	1298
34	-7,417157	112,407440	1298
35	-7,343840	112,455650	1298
36	-7,363443	112,443470	1298
129	-7,624460	112,496000	1298
130	-7,581600	112,418000	1119
139	-7,532080	112,510000	1298
150	-7,348800	112,415400	1666
151	-7,327240	112,477000	1814
152	-7,348800	112,458000	1691
153	-7,334580	112,387800	1534
154	-7,342200	112,369000	1814
155	-7,329410	112,424700	1691
156	-7,455550	112,387800	1601
157	-7,453600	112,366300	1561
158	-7,613260	112,491000	1814
159	-7,581400	112,417600	1561
160	-7,563560	112,536000	1814
161	-7,532080	112,510000	1814
162	-7,445430	112,456000	1691
163	-7,508530	112,562000	1814
164	-7,572280	112,589000	1561
165	-7,554400	112,614300	1561
166	-7,568280	112,655000	1534
167	-7,595660	112,561000	1814

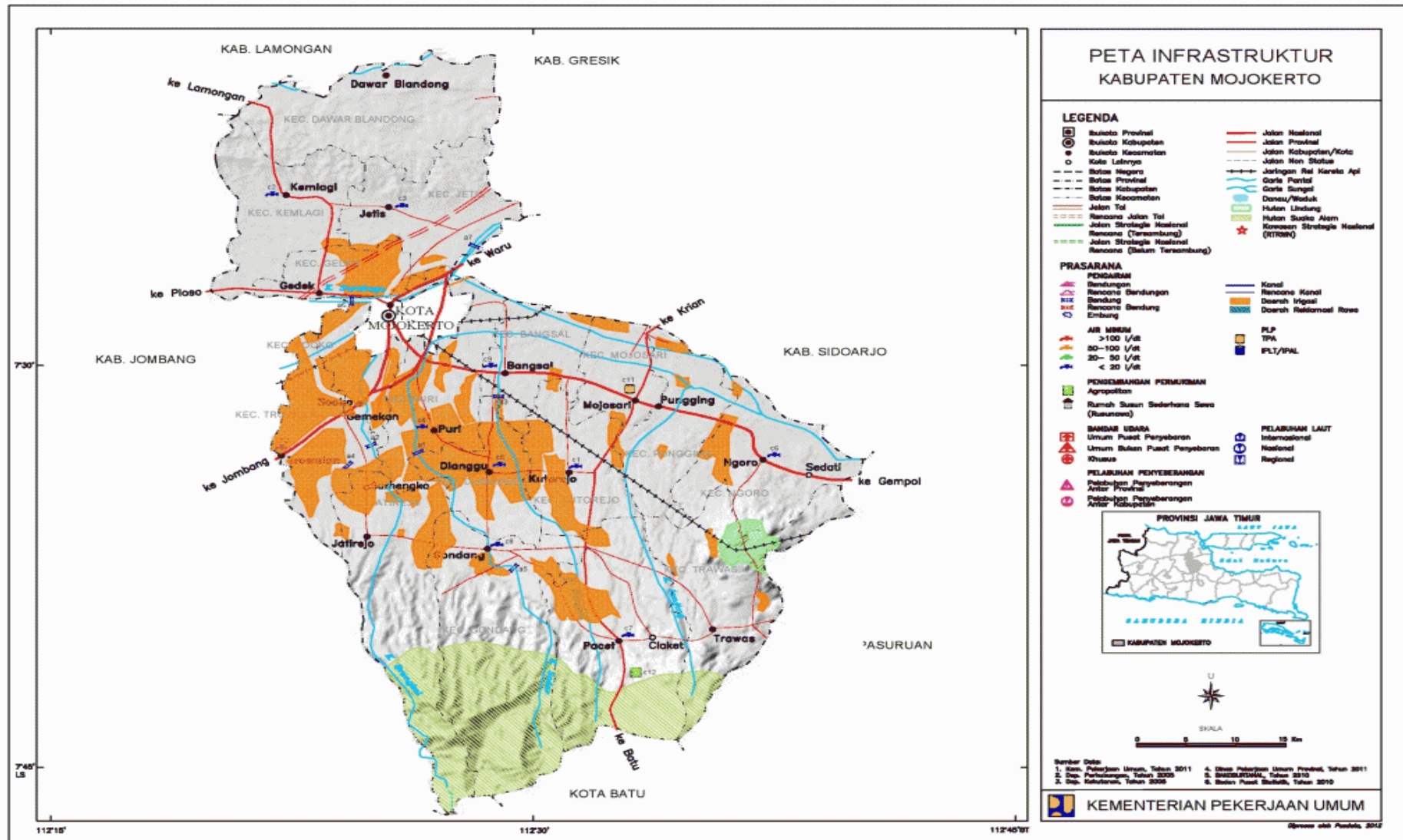
210	-7,501511	112,550835	1700
211	-7,482505	112,551147	1700
212	-7,487000	112,521725	1700
213	-7,490937	112,496986	1700
214	-7,492187	112,489929	1700
215	-7,490744	112,478088	1700
216	-7,501806	112,499020	1700
217	-7,476037	112,502838	1700
218	-7,466131	112,500877	1700
219	-7,480358	112,476726	1700
220	-7,477123	112,462864	1700
221	-7,552463	112,462265	1700
222	-7,565285	112,482101	1700
223	-7,593470	112,482212	1700
224	-7,562314	112,428928	1700
225	-7,533136	112,420929	1700
226	-7,532386	112,432049	1700
227	-7,514995	112,458557	1700
228	-7,518496	112,442402	1700
229	-7,502225	112,440990	1700
230	-7,513981	112,425350	1700
231	-7,564980	112,394596	1700
232	-7,551200	112,369820	1700
233	-7,510571	112,380718	1700
234	-7,512183	112,414845	1700
235	-7,499975	112,394760	1700
236	-7,488165	112,409355	1700
237	-7,477472	112,395042	1700
238	-7,450086	112,428528	1700

168	-7,617379	112,434384	1700
169	-7,625819	112,413921	1700
170	-7,586539	112,398556	1700
171	-7,582952	112,409405	1700
172	-7,584477	112,440380	1700
173	-7,581407	112,446560	1700
174	-7,596816	112,458637	1700
175	-7,618592	112,456772	1700
176	-7,614431	112,499401	1700
177	-7,612745	112,513306	1700
178	-7,624479	112,483661	1700
179	-7,640965	112,461277	1700
180	-7,654663	112,482780	1700
181	-7,648684	112,477413	1700
182	-7,609799	112,529709	1700
183	-7,620815	112,550179	1700
184	-7,650696	112,554066	1700

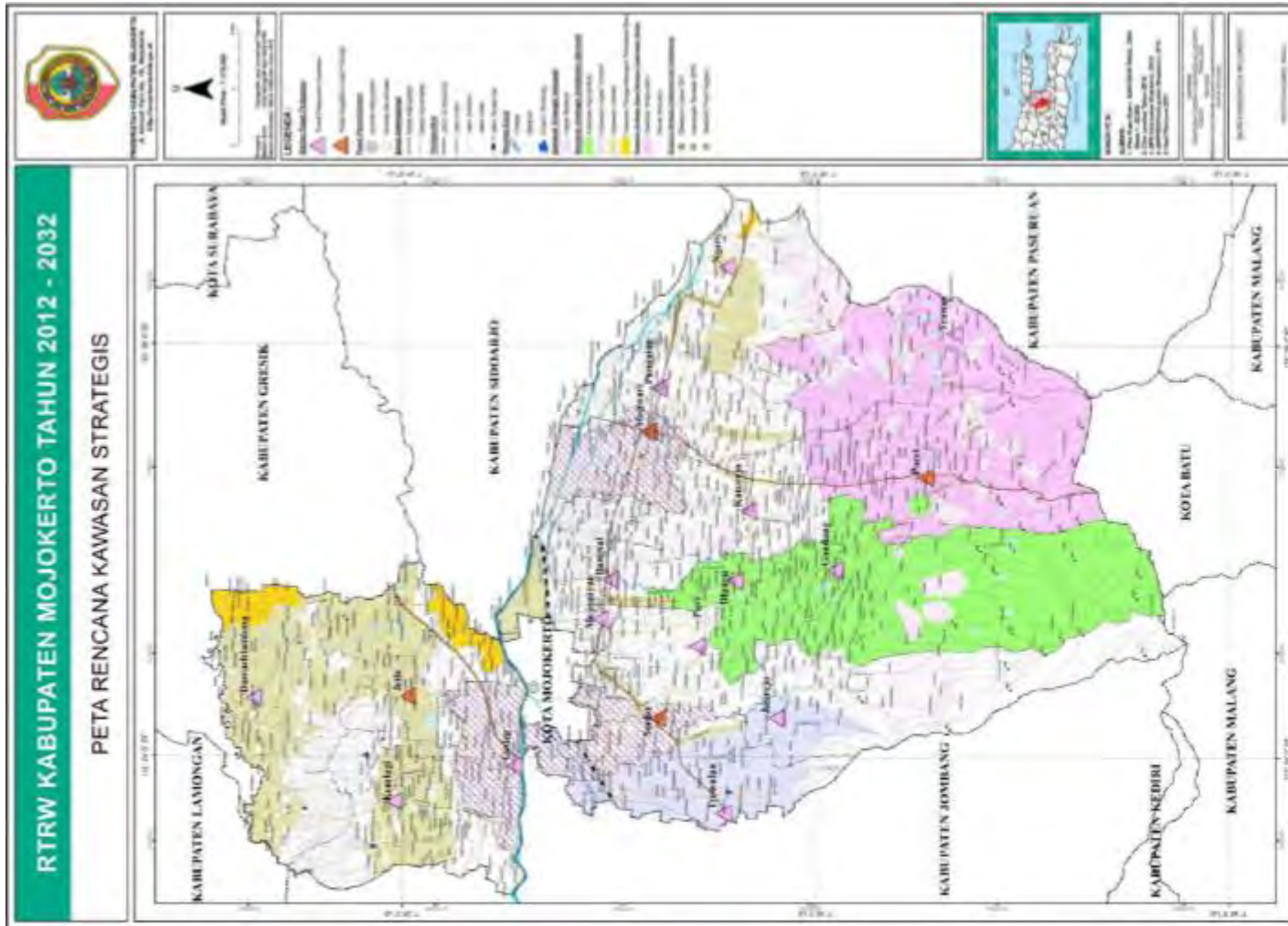
239	-7,432839	112,417076	1700
240	-7,449154	112,413273	1700
241	-7,445120	112,388603	1700
242	-7,383858	112,402008	1700
243	-7,390338	112,366714	1700
244	-7,403307	112,352371	1700
245	-7,404447	112,374775	1700
246	-7,415138	112,356243	1700
247	-7,370583	112,462784	1700
248	-7,405106	112,484184	1700
249	-7,397160	112,454975	1700
250	-7,423922	112,461403	1700
251	-7,417283	112,423481	1700
252	-7,343840	112,455650	1700
253	-7,332900	112,427879	1700
254	-7,355625	112,425606	1700
255	-7,335266	112,362804	1700

LAMPIRAN

Peta Kabupaten Mojokerto



Peta Rencana Kawasan Strategis Kabupaten Mojokerto 2012-2032



LAMPIRAN

Listing Program *Differential Evolution*

```

%Program Optimasi Peletakan BTS Menggunakan Algoritma
Differential Evolution
%Design by Ahadi Arif N

%=====
%
%Pendefinisian Input
%=====

clear all;
clc;
[problem] = problem_arif;
[problem1] = problem_blank_spot;
PB = length(problem1);    %populasi total titik alternatif RTRW
NPB = 10;                 %jumlah populasi trial blank spot
NS = 4;                   %jumlah titik optimal yg dicari
NPE = length(problem);    %jumlah populasi existing
CPS = nchoosek(PB,NS);    %jumlah kombinasi yg mungkin dari NPB
dan NS
D = 4;                    %jumlah dimensi
F = 0.9;                   %faktor mutasi
CR = 0.2;                  %crossover rasio
itermax = 10000;           %jml maks iterasi
t=cputime;
luas_eksisting = 18.5;    %luas bts eksisting

%=====
%
%-----TAHAP INISIALISASI VEKTOR-----
%
%=====

popold = zeros(NPB,4);
popnew = zeros(PB,4);

```

```

LB = 1; %batas bawah populasi alternatif
UB = length(problem1); %batas atas populasi alternatif
LB1 = ceil(667518.24); %batas bawah vektor x kecamatan
UB1 = floor(672805.05); %batas atas vektor x kecamatan
LB2 = ceil(9166208.11); %batas bawah vektor y kecamatan
UB2 = floor(9173920.37); %batas atas vektor y kecamatan
LB3 = 600;%600 %batas bawah radius
UB3 = 1109;%800 %batas atas radius
exis = zeros;
luas_exis = zeros;
luas_irisan_bts_exis = zeros;
d = zeros;
luas_irisan_bts = zeros;
luas_gab = zeros;
luas_irisan_bts_gab = zeros;
luas = zeros;

for i=1:NPE
    exis(i,1) = problem(i,1); %nilai nomor
    exis(i,2) = problem(i,2); %nilai x
    exis(i,3) = problem(i,3); %nilai y
    exis(i,4) = problem(i,4); %nilai r
end

for i=1:PB
    popnew(i,1:3) = problem1(i,1:3);
    popnew(i,4) = LB3 + rand*(UB3 - LB3);

    figure(1);
    plot(popnew(1:NPB,2),popnew(1:NPB,3),'black.','LineWidth',1)
    xlabel('koordinat x');
    ylabel('koordinat y');
    title('Inisialisasi Populasi');
    grid on;
    hold on
    axis([LB1 UB1 LB2 UB2])
end
popold = zeros(size(popold)); %populasi trial awal

```

```

val      = zeros(CPS,1);      %nilai value awal
bestmem  = zeros(NS,D);      %anggota populasi terbaik
bestmemit = zeros(NS,D);      %anggota populasi terbaik iterasi
nfeval   = 0;                 %nomor fungsi evaluasi

%-----Menghitung luas coverage dari data existing-----
for i=1:NPE
for j=1:NPE
    rlexis=exis(i,4);
    r2exis=exis(j,4);
%----hitung luas bts-----
    luas_exis(i)= (pi*(exis(i,4).^2))/1000000;
%----hitung jarak d-----
    d(i,j)= real(sqrt ((exis(i,2)-exis(j,2)).^2 + (exis(i,3)-exis(j,3)).^2));
%----hitung irisan antar BTS-----
    if (i==j)
        luas_irisan_bts_exis(i,j) = 0;
    else
        luas_irisan_bts_exis(i,j)=real(( rlexis^2*acos((d(i,j)^2+rlexis^2-
r2exis^2)/(2*d(i,j)*rlexis)) + r2exis^2*acos((d(i,j)^2+r2exis^2-
rlexis^2)/(2*d(i,j)*r2exis)) - 0.5*sqrt((-
d(i,j)+rlexis+r2exis)*(d(i,j)+rlexis-r2exis)*(d(i,j)-
rlexis+r2exis)*(d(i,j)+rlexis+r2exis)))/1000000);
    end
end
end
luas_total_bts_exis = sum(luas_exis);
luas_total_irisan_bts_exis = (sum(sum(luas_irisan_bts_exis)))/2;
luas_coverage_eksis = luas_total_bts_exis - luas_total_irisan_bts_exis;
luas_coverage_exis = luas_eksisting; %Luas eksisting

%-----
%-----Evaluasi fungsi obyektif untuk optimasi BTS-----
-
%-----

ibest = 1:NS; % mulai dengan anggota populasi pertama
%-----evaluasi fungsi obyektif-----

```



```

for i=1:NPB
    popold(i,1:3) = problem1(i,1:3);
    popold(i,4) = LB3;
end

for i=1:NS
for j=1:NS
    r1=popold(ibest(i),4);
    r2=popold(ibest(j),4);
    %---hitung luas bts-----
    luas(i)= (pi*(popold(ibest(i),4).^2))/1000000;
    %---hitung jarak d-----
    d(ibest(i),ibest(j))= real(sqrt ((popold(ibest(i),2)-
    popold(ibest(j),2)).^2 + (popold(ibest(i),3)-popold(ibest(j),3)).^2));
    %---hitung irisan antar BTS-----
    if (ibest(i)==ibest(j))
        luas_irisan_bts(ibest(i),ibest(j)) = 0;
    else
        luas_irisan_bts(ibest(i),ibest(j))=real(((
        r1^2*acos((d(ibest(i),ibest(j))^2+r1^2-r2^2)/(2*d(ibest(i),ibest(j))*r1)) +
        r2^2*acos((d(ibest(i),ibest(j))^2+r2^2-r1^2)/(2*d(ibest(i),ibest(j))*r2)) -
        0.5*sqrt((-d(ibest(i),ibest(j))+r1+r2)*(d(ibest(i),ibest(j))+r1-
        r2)*(d(ibest(i),ibest(j))-r1+r2)*(d(ibest(i),ibest(j))+r1+r2)))/1000000);
    end
end
end
luas_total_bts = sum(luas);
luas_total_irisan_bts = (sum(sum(luas_irisan_bts)))/2;
val(1) = luas_total_bts - luas_total_irisan_bts ;
bestval = val(1); %nilai fungsi obyektif untuk saat ini
nfeval = nfeval + 1;

%-----cek anggota populasi yang lain-----
for ii = 2:NPB
    a=[];
    RP = randperm(NPB,NS);
    b = [RP a];

for i=1:NS

```

```

for j=1:NS
%-----evaluasi fungsi obyektif untuk populasi ke-i-----
    r1=popold(b(i),4);
    r2=popold(b(j),4);
%----hitung luas bts-----
    luas(i)= (pi*(popold(b(i),4).^2))/1000000;
%----hitung jarak d-----
    d(i,j)= real(sqrt (((popold(b(i),2))-(popold(b(j),2))).^2 +
((popold(b(i),3))-(popold(b(j),3))).^2));
%----hitung irisan antar BTS-----
if (b(i)==b(j))
    luas_irisan_bts(i,j) = 0;
else
    luas_irisan_bts(i,j) =real((((r1.^2*acos((d(i,j).^2+r1.^2-
r2.^2)/(2*d(i,j)*r1)) + r2.^2*acos((d(i,j).^2+r2.^2-r1.^2)/(2*d(i,j)*r2)) -
0.5*sqrt((-d(i,j)+r1+r2)*(d(i,j)+r1-r2))*(d(i,j)-
r1+r2)*(d(i,j)+r1+r2)))))/1000000);
end
end
end
luas_total_bts (ii) = sum(luas);
luas_total_irisan_bts = (sum(sum(luas_irisan_bts)))/2;
val(ii) = luas_total_bts (ii) - luas_total_irisan_bts;

nfeval = nfeval + 1;
if (val(ii) > bestval)      % jika anggota adl yg terbaik
    ibest = b;             % simpan kordinat lokasi
    bestval = val(ii);
end
end
bestmemit = popold(ibest,:);    % anggota terbaik pada iterasi saat ini
luas_coverage = bestval ;
bestvalit = bestval;           % nilai terbaik untuk iteraasi saat ini
bestmem = bestmemit;          % anggota terbaik

bestmemgab = [bestmem;exis];
for i=1:(NPE+NS)
for j=1:(NPE+NS)
    r1gab=bestmemgab(i,4);

```

```

        r2gab=bestmemgab(j,4);
%----hitung luas bts-----
        luas_gab(i)= (pi*(bestmemgab(i,4).^2))/1000000;
%----hitung jarak d-----
        d(i,j)= real(sqrt ((bestmemgab(i,2)-bestmemgab(j,2)).^2 +
(bestmemgab(i,3)-bestmemgab(j,3)).^2));
%----hitung irisan antar BTS-----
if (i==j)
        luas_irisan_bts_gab(i,j) = 0;
else
        luas_irisan_bts_gab(i,j) =real(( r1gab^2*acos((d(i,j)^2+r1gab^2-
r2gab^2)/(2*d(i,j)*r1gab)) + r2gab^2*acos((d(i,j)^2+r2gab^2-
r1gab^2)/(2*d(i,j)*r2gab)) - 0.5*sqrt((-
d(i,j)+r1gab+r2gab)*(d(i,j)+r1gab-r2gab)*(d(i,j)-
r1gab+r2gab)*(d(i,j)+r1gab+r2gab)))/1000000);
end
end
end
luas_total_bts_solusi = sum(luas_gab(1:NS));
luas_total_irisan_bts_gab = sum(sum(luas_irisan_bts_gab(1:NS,:)));
luas_irisan_bts_solusi = sum(sum(luas_irisan_bts_gab(1:NS,1:NS)))/2;
luas_irisan_bts_solusi_and_exis = luas_total_irisan_bts_gab -
luas_irisan_bts_solusi;
luas_coverage_bts_solusi_and_exis = luas_total_bts_solusi -
luas_irisan_bts_solusi_and_exis;
bestvalgab = luas_coverage_exis + luas_coverage_bts_solusi_and_exis;

% stopping_criterion = luas_eksisting + val(1);
stopping_criterion = luas_eksisting;

%=====
%-----TAHAP MUTASI DAN CROSSOVER VEKTOR-----
%=====
pm1 = zeros(NPB,D);      % inisialisasi populasi untuk matrix 1
pm2 = zeros(NPB,D);      % inisialisasi populasi untuk matrix 2

```

```

pm3 = zeros(NPB,D);      % inialisasi populasi untuk matrix 3
pm4 = zeros(NPB,D);      % inialisasi populasi untuk matrix 4
pm5 = zeros(NPB,D);      % inialisasi populasi untuk matrix 5
bm = zeros(NS,D);        % inialisasi matriks anggota terbaik
ui = zeros(NPB,D);        % inialisasi populasi crossover
vi = zeros(NPB,D);        % inialisasi populasi mutasi
mui = zeros(NPB,D);
mpo = zeros(NPB,D);
rot = (0:1:NPB-1);        % memutar index array
rt = zeros(NPB);          % memutar index array yg lain
a1 = zeros(NPB);          % index array
a2 = zeros(NPB);          % index array
a3 = zeros(NPB);          % index array
a4 = zeros(NPB);          % index array
a5 = zeros(NPB);          % index array
ind = zeros(4);

```

```

iterasi = 1;
ite = zeros;
while bestvalgab < stoping_criterion
    iterasi = iterasi + 1;
    ite(iterasi)=iterasi;
    r = zeros(NPB,1);

```

```

%-----
%-----MUTASI VEKTOR-----
-
%-----
ind = randperm(4);        % index
r1 = randperm(NPB);       % acak lokasi vektor
rt = rem(rot+ind(1),NPB);
r2 = r1(rt+1);
rt = rem(rot+ind(2),NPB);
r3 = r2(rt+1);
rt = rem(rot+ind(3),NPB);
r4 = r3(rt+1);
rt = rem(rot+ind(4),NPB);
r5 = r4(rt+1);

```

```

pm1 = popnew(r1,1);      % acak populasi 1
pm2 = popnew(r2,1) ;    % acak populasi 2
pm3 = popnew(r3,1) ;    % acak populasi 3
pm4 = popnew(r4,1);     % acak populasi 4
pm5 = popnew(r5,1);     % acak populasi 5

for i=1:NS
    bm(i,1) = bestmemit(i,1); % anggota terbaik iterasi
end
mui = rand(PB,4) < CR;
mpo = mui < 0.5;

vi = round(pm3 + F*(pm1 - pm2)); % differential variation

for a =1:NPB
    if vi(a)>UB
        vi(a)=UB;
    elseif vi(a)<LB
        vi(a)=LB;
    end
end
vi = popnew(vi,:); %populasi mutasi

%-----
%-----CROSSOVER VEKTOR-----
%-----

for i=1:NPB
    r(i) = rand;
    if r(i) < CR
        ui(i,:) = vi(i,:); % crossover vektor
    else
        ui(i,:) = popnew(i,:);
    end
end

if ui(i,1)>UB
    ui(i,1)=UB;
elseif ui(i,1)<LB

```



```

    luas_irisan_bts(i,j) = 0;
else
    luas_irisan_bts(i,j) = real((((r1.^2*acos((d(i,j).^2+r1.^2-
r2.^2)/(2*d(i,j)*r1)) + r2.^2*acos((d(i,j).^2+r2.^2-r1.^2)/(2*d(i,j)*r2)) -
0.5*sqrt((-d(i,j)+r1+r2)*(d(i,j)+r1-r2)*(d(i,j)-
r1+r2)*(d(i,j)+r1+r2)))))/1000000);
end
end
end
luas_total_bts = sum(luas);
luas_total_irisan_bts = (sum(sum(luas_irisan_bts)))/2;
tempval = real(luas_total_bts - luas_total_irisan_bts); %total luas
coverage BTS
nfeval = nfeval + 1;

if (tempval >= val(ii))      % jika anggota adl yg terbaik
    popold(b,1:4) = ui(c,1:4); % simpan kordinat lokasi
    val(ii) = tempval;
else
    popold(b,1:4) = popold(b,1:4);
    val(ii) = val(ii);

if (tempval > bestval) % memilih kompetitor
    bestval = tempval; % nilai terbaik baru
    bestmem = ui(c,1:4); % anggota terbaik
else
    bestval = bestval;
    bestmem = bestmem;
end
end
end

bestmemit = bestmem ; % anggota terbaik saat iterasi
bestval = real(tempval); % nilai fungsi tujuan terbaik.
total_luas_coverage = real(bestval);
bestmemgab = [bestmem;exis];

for i=1:(NPE+NS)
for j=1:(NPE+NS)

```

```

r1gab=bestmemgab(i,4);
r2gab=bestmemgab(j,4);

%----hitung luas bts-----
luas_gab(i)= (pi*(bestmemgab(i,4).^2))/1000000;
%----hitung jarak d-----
d(i,j)= real(sqrt ((bestmemgab(i,2)-bestmemgab(j,2)).^2 +
(bestmemgab(i,3)-bestmemgab(j,3)).^2));
%----hitung irisan antar BTS-----
if (i==j)
    luas_irisan_bts_gab(i,j) = 0;
else
    luas_irisan_bts_gab(i,j) =real(( r1gab^2*acos((d(i,j)^2+r1gab^2-
r2gab^2)/(2*d(i,j)*r1gab)) + r2gab^2*acos((d(i,j)^2+r2gab^2-
r1gab^2)/(2*d(i,j)*r2gab)) - 0.5*sqrt((-
d(i,j)+r1gab+r2gab)*(d(i,j)+r1gab-r2gab)*(d(i,j)-
r1gab+r2gab)*(d(i,j)+r1gab+r2gab)))/1000000);
end
end
end

luas_total_bts_solusi = sum(luas_gab(1:NS));
luas_total_irisan_bts_gab = sum(sum(luas_irisan_bts_gab(1:NS,:)));
luas_irisan_bts_solusi = sum(sum(luas_irisan_bts_gab(1:NS,1:NS)))/2;
luas_irisan_bts_solusi_and_exis = luas_total_irisan_bts_gab -
luas_irisan_bts_solusi;
luas_coverage_bts_solusi_and_exis = luas_total_bts_solusi -
luas_irisan_bts_solusi_and_exis;
bestvalgab = luas_coverage_exis + luas_coverage_bts_solusi_and_exis;

%----Output-----

if (rem(iterasi,10) == 0)
    fprintf(1,'Iteration: %d, Bestvalue: %f, F: %f, CR: %f, NP:
%d\n',iterasi,bestvalgab,F,CR,NPB);
for n=1:D
    fprintf(1,'best(%d) = %f\n',n,bestmem(n));
end
end

```



```

baik(iterasi)=bestvalgab;
waktu_komputasi = cputime-t;

```

```

end

```

```

figure(3)
plot(ui(:,2),ui(:,3),'b.','LineWidth',1)
xlabel('koordinat x');
ylabel('koordinat y');
title('Crossover Vektor');
grid on;
hold on
axis([LB1 UB1 LB2 UB2])

```

```

figure(4)
plot(bestmemit(:,2),bestmemit(:,3),'r*')
xlabel('koordinat x');
ylabel('koordinat y');
title('Populasi Optimasi');
grid on;
hold on
axis([LB1 UB1 LB2 UB2])

```

```

%------%
%-----Tampilan Output------%
%------%

```

```

Iterasi_maks = itermax;
xlswrite('Hasil Optimasi.xlsx', itermax, 'Sheet1', 'C3')

```

```

Faktor_mutasi = F;
xlswrite('Hasil Optimasi.xlsx', F, 'Sheet1', 'C1')

```

```

Crossover_ratio = CR;
xlswrite('Hasil Optimasi.xlsx', CR, 'Sheet1', 'C2')

```

```

Iterasi = iterasi;
xlswrite('Hasil Optimasi.xlsx', iterasi, 'Sheet1', 'B6')

```

```
titik_optimasi = bestmemit(:,1:4);  
xlswrite('Hasil Optimasi.xlsx', bestmemit, 'Sheet1', 'E6')  
  
Perhentian_Iterasi = stoping_criterion ;  
  
Luas_coverage_eksisting = luas_coverage_exis;  
xlswrite('Hasil Optimasi.xlsx', luas_coverage_exis, 'Sheet1', 'C6')  
  
Luas_coverage_optimasi = bestvalgab;  
xlswrite('Hasil Optimasi.xlsx', bestvalgab, 'Sheet1', 'D6')  
  
Waktu_komputasi = waktu_komputasi;  
xlswrite('Hasil Optimasi.xlsx', waktu_komputasi, 'Sheet1', 'I6')
```


RIWAYAT PENULIS



Ahadi Arif Nugraha, lahir di Klaten, Jawa Tengah, pada tanggal 18 Maret 1990. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Dalimin dan Ibu Ratmini. Riwayat pendidikan formal yang pernah di tempuh oleh penulis adalah SD N 1 Cawas Klaten pada tahun 1996-2002. SMP N 1 Cawas Klaten pada tahun 2002-2005. SMA N 1 Cawas pada tahun 2005-2008. Penulis melanjutkan pendidikan Diploma 3 di Institut Teknologi Telkom Bandung, Fakultas Elektro dan Telekomunikasi, dengan Program Studi

Teknik Telekomunikasi pada tahun 2008-2011. Kemudian pada bulan Januari 2013 penulis melanjutkan studi S1 program Lintas Jalur di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis memilih bidang studi Telekomunikasi Multimedia.